ЗАНИМАТЕЛЬНО ОБ ЭНЕРГЕТИКЕ

МОСКВА
«МОЛОДАЯ ГВАРДИЯ»
1981

ВВЕДЕНИЕ

В головоломке, популярной среди французских детей, действуют фермер, пруд и водяные лилии.

Лилии быстро растут число их ежедневно удваивается. Через 30 дней они покроют весь пруд и погубят все живое в нем.

Фермер не хочет допустить этого, но, занятый делами, решает вмешаться в тот день, когда лилии заполонят половину поверхности пруда.

Вопрос (в нем суть головоломки): «На какой день половина пруда будет покрыта лилиями?»

Ответ: «...на 29-й». Таким образом, чтобы спасти свой пруд, фермеру остается лишь один день!

Нечто подобное происходит и с энергетикой землян: потребление энергии неудержимо растет, запасы ископаемого топлива столь же стремительно сокращаются.

А «головоломка» здесь в том, что необходимо срочно (в течение нескольких десятилетий? лет?) изыскивать новые, по возможности дешевые, обильные (вечные?), достаточно мощные и экологически чистые источники энергии.

И вот ломают головы уже не школьники, а ученые, инженеры, экономисты, экологи, футурологи...

ГЛАВА 1

ЭНЕРГЕТИКА ГЛАЗАМИ ФИЗИКА

В *старой сказке колдунья варит в котле волшебное зелье. Но ни в одной сказке нет такого котла, который построили ученые, чтобы добыть атомную энергию.*
М. Ильин

В 1945 году, когда первые атомные бомбы были уже взорваны, крупным американским специалистам был задан вопрос: «Когда удастся использовать атомную энергию в мирных целях?» Почти все ученые назвали одну цифру: 50 лет (1995 год). Но, как известно, первая советская (и первая в мире) атомная электростанция в Обнинске дала ток уже 27 июня 1954 года.

Такой грубый просчет! Тем более странный, что в самих США с 1942 года работал ядерный реактор с графитовым замедлителем — модель будущих электростанций.

Оказывается, американские специалисты исходили из соображений не столько технических, сколько экономических. Атомная электростанция, рассуждали они, дороже ГЭС или тепловой (теперь цены сравнялись). А следовательно, у нее нет шансов. А вот лет через 50, когда запасы нефти начнут истощаться...

Отчего же в последние десятилетия, вопреки скепсису экономистов, во всем мире атомная энергетика развивается опережающими темпами? Почему у нас в стране прирост мощностей в этой области составляет около 35 процентов? (Такого не знает ни одна из отраслей народного хозяйства!)

Отчего? Почему? Зачем? — на все эти вопросы ответит нам физик. Физика подарила человечеству энергию делящегося атома и сейчас пытается приручить еще и термоядерные реакции. Физик видит мир в особом свете, мыслит строгими количественными категориями. Поэтому его мнение представляет особый интерес. Послушаем же его прогноз о ближайшем будущем земной энергетики.

Плата — энергия

Один царь, гласит восточная легенда, решил отблагодарить мудреца и предложил ему самому назначить награду. Тот попросил зерна: одно зернышко — на первый квадрат шахматной доски, два — на второй, четыре — на третий, и так далее, удваивая каждый раз предыдущую цифру. Царя поразила скромность просьбы, но... скоро выяснилось: выполнить ее он не в силах. Суммарный вес зерен, если бы заполнить все 64 клетки доски, составил бы около ста миллиардов тонн — более чем десятикратный годовой мировой сбор/ зерна!

Мы не случайно вспомнили эту историю. Горькая мораль древней притчи близка и созвучна нашему времени. Многие из проблем человечества, оказывается, имеют точно такую же природу.

Физик скажет: число зерен росло в геометрической прогрессии, или, что фактически то же самое, по экспоненциальному закону. Так же, добавит он, растет из года в год добыча руд, и число научных публикаций, и количество автомобилей, и многое иное, что связано с жизнью человека.

К примеру, население планеты. Оно за год возрастает на 2 процента: много это или мало? Вроде бы немного. Однако, по прогнозам ООН, к 2000 году народонаселение Земли увеличится в 1,5 раза и достигнет колоссальной цифры — приблизительно 7 миллиардов человек!

Но еще стремительней растет выработка энергии — 5 процентов ежегодно! Это наиболее высокий показатель роста в мировом хозяйстве. Почти во всех странах капиталовложения в энергетику доминируют. (5 процентов — это очень много. Французский энергетик и математик Р. Жибра сделал любопытные подсчеты. Полное превращение материи в энергию по формуле Эйнштейна $E = mc^2$ — это, кажется, максимум того, на что человек вправе рассчитывать. Так вот, если бы способ превращения материи в энергию был в наших руках и если б мы захотели им воспользоваться, то при теперешнем удвоении электрической энергии каждые десять лет вещества Земли хватило бы ненадолго!)

Стремительный рост потребления энергии закономерен.

Рост населения Земли сам по себе требует увеличения количества продукции, что связано с дополнительными расходами энергоресурсов. Кроме того, процесс индустриализации, идущий в мире, требует дополнительного расхода материалов — металла, пластмасс и т. д.— на душу населения, что неминуемо ведет к росту энергозатрат.

Есть и другие причины. Как известно, запасы минерального сырья быстро истощаются. Источники серебра, олова, меди и других крайне нужных человеку цветных металлов скудеют. Вот и приходится извлекать эти металлы из все более бедных по содержанию руд. Уже сейчас магний добывают из морской воды. И каждая крупица этого металла обходится в большие энергозатраты.

Отношение человека к веществам довольно прихотливо. Мода тут непрерывно меняется.

Академик А. Ферсман когда-то писал, что в отдаленном будущем, возможно, в основу промышленности будет положена глина.

Но какие бы элементы ни использовал человек, к чему бы он ни испытывал пристрастие, поставить их себе на службу он сможет, лишь обладая достаточно мощной энергетикой.

Следующая причина быстрого роста энергетики — это загрязнение окружающей среды. Оно уже достигло глобальных масштабов и требует срочных мер.

Лучшее средство здесь — создание циклических, замкнутых производств (по образцу природных процессов), где бы вредные отбросы полностью отсутствовали. Но подобные установки требуют все того же — энергии!

В ней нуждается и сельское хозяйство. Производство во всевозрастающих количествах минеральных удобрений, связывание азота воздуха. А скажем, химическая технология: и ей подавай энергию! Химическая технология обещает нам многое — вплоть до создания искусственной пищи. Но, чтобы скомпоновать из неорганических веществ органику, годную в пищу, к примеру белки, опять же потребна энергия.

Так вот и получается: к чему бы человек ни притронулся, за что бы он ни взялся, что бы он ни затеял, тотчас же незримая «рука» подставляет свою ладонь — плати!

И не только за комфорт, но даже за создание хотя бы сносных условий существования человеку постоянно приходится платить, а плата всюду одна — энергия.

Академик, лауреат Нобелевской премии П. Капица последние годы в своих докладах и статьях («Глобальные проблемы и энергия», «Энергия и физика») неоднократно выступал с обсуждением и вопросов энергетики.

В одной из своих статей П. Капица приводит красивую аналогию. В организм человека, пишет он, попал микроб. Он размножается делением каждый час... И вот число микробов во времени — болезнь прогрессирует! — начинает бешено расти, как и число зерен на шахматной доске. Та же геометрическая прогрессия! Нетрудно подсчитать, что за три дня число микробов достигло бы в организме человека астрономической цифры — 10^{21}. И суммарный вес микробов превысил бы вес человека!

Этого, конечно, быть не может. Безудержный процесс размножения микробов должен прекратиться. Здесь есть, говорит П. Капица, три исхода. Либо организм человека поборет болезнь — микробы будут уничтожены, либо же они будут продолжать развиваться, и человек в конце концов погибнет вместе с ними. Есть и третий исход — в организме уничтожается столько же микробов, сколько их возникает. Это хроническое течение болезни, оно может продолжаться неопределенно долго.

Развитие болезни и проблемы энергетики — они во многом схожи (вот она, физика, умеющая обобщать самые разнородные явления!). И в энергетических делах для человека только три дорожки.

Первая — остаться без энергии. В отличие от примера с микробами — исход плачевный, катастрофа!

Другой путь — хроническое топтание на месте, так сказать, перебиваться в энергетике с хлеба на квас: тоже не сахар!

Значит, вроде бы приемлемо лишь одно: путь третий — непрерывный рост энерговооруженности. Да, собственно, так оно и идет: за последние 15 лет годовой прирост энергии, доминируя над всем прочим, держится на уровне пяти процентов. Ближайшая перспектива? О ней вполне определенно высказался один из ведущих советских энергетиков академик Е. Велихов: «Основываясь на докладах (беседа шла в начале 1980 года в Гамбурге: там проходил крупный научный форум) таких организаций, как академии наук СССР, США, Международный институт прикладного системного анализа и других, мы пришли к важному выводу: несмотря на все усилия по экономии, потребление энергии будет возрастать...»

Вроде бы, такой вывод — повод для радости: «организм мира», дескать, крепнет с каждым днем. Все больше энергии становится подвластной человеческой воле...

Но тогда как же понять слова П. Капицы: «Мы сейчас внезапно почувствовали себя больными, и, чтобы не погибнуть, пора подумать, как нам лечиться...»?

Бытовая и промышленная

Понимать слова П. Капицы следует так. Считается, что мы живем в век атомный. Но так ли это? Ведь и сегодня львиную долю энергии дает нам не делящийся атом, не «Токамаки», а, как и встарь, уголь, нефть и газ. Но все, как говорится, течет, все меняется. И эти энергетические закрома в один далеко не прекрасный день будут истощены. Когда? Сказать трудно. Назывались самые различные сроки: и длинные сотни лет, и краткие десятилетия.

Улучшение методов разведки и усовершенствование глубинного бурения (сейчас добыча нефти и газа с глубин в 5—7 тысяч метров уже не считается исключением) много раз вносили существенные коррективы в эти прогнозы.

Опять же — энергия энергии рознь! Желательно, чтобы энергия была дешевой и легкодоступной. Скажем, известно, что ядерное топливо — уран и торий входят в состав обычных гранитов и базальтов. Запасы эти грандиозны. Но трудно представить себе такой

уровень техники, при котором будет экономически целесообразно перерабатывать для извлечения урана или тория громадную массу гранитов и базальтов нашей планеты.

Да, запасы могут быть велики, но ясно как день, что когда-то (бессмысленно пытаться указывать точные даты) им все же придет конец. Ибо противоположное утверждение противоречило бы одному из фундаментальнейших законов физики — закону сохранения энергии. И как следствие допускало бы существование вечного двигателя.

Вечный двигатель изобрести невозможно — это факт. Но вечные источники энергии, способные прийти на смену тающим запасам ископаемого топлива, имеются. Достаточно взглянуть на наше светило, уже многие миллионы лет изливающее на Землю обильную и. все не скудеющую энергию.

Рядовые вечной энергетики — это и ветер, и луч» солнца, и сила океанских течений, и тепло земных недр... Что предпочесть? Какой источник энергии выбрать?

И тут вновь физические соображения, оказывается, могут быть очень полезны. Они помогут отделить пшеницу от плевел: отбросить технические проекты заведомо бесперспективные.

Но прежде чем присяжные физики вынесут свой приговор, полезно уточнить: а о какой, собственно, энергии идет здесь речь? Или, по-другому, куда пойдет энергия? Ведь есть энергия «бытовая» и есть «промышленная». Их нельзя путать. «Бытовая» это то, что обеспечивает нам культурный уровень жизни, ее высокий стандарт. Тут многое, привычное всякому человеку — электроосвещение, электропитание холодильников, телевизоров, электробритв, пылесосов и других приборов, красящих наш быт. Тут энергетический счет невысок — киловатты

Совсем иное — масштаб энергии «промышленной». Металлургия, машиностроение, транспорт, строительство, сельское хозяйство съедают уже многие сотни мегаватт миллионы киловатт! Энергия ни в какое сравнение не идущая с «бытовой».

И когда говорят об энергетическом кризисе, то имеют в виду именно энергию «промышленную». Только она определяет уровень валового продукта и размер национального дохода той или иной страны.

Ита1, нужны мощные и, памятуя о кризисе и невозможности вечного двигателя, неисчерпаемые, неиссякаемые (практически, конечно) источники энергии.

Что же, оглянемся вокруг. Практически вечны солнце, приливы, кипение вулканов.. Да, они вечны, но — увы! — недостаточно мощны. Плотность поступающей от них энергии невелика.

Вот, скажем, солнце. Этот великан ежесекундно расходует на тепло и свет 4200 тонн своего вещества. Каждые сутки масса солнца уменьшается почти на 400 миллиардов тонн: циклопические количества! Солнце тает на глазах, однако волнения тут преждевременны.

Вес солнца настолько грандиозен, что оно будет поддерживать «огонь в своих топках» еще примерно 100 миллиардов лет. На наш век, как говорится, хватит!

Хуже с плотностью энергии, падающей от солнца на землю. Солнце далеко. На один квадратный метр освещенной поверхности приходится лишь 100 ватт. И это оптимум: максимум того, что дает светило. А уж как людям удастся снять этот солнечный урожай — это другой (довольно уязвимый) вопрос!

100 ватт, может быть, и сносно для энергии «бытовой», но ведь нам надо насытить энергию «промышленную». А вот тут для получения, скажем, 100 мегаватт требуется площадь с квадратный километр.

Однако гораздо хуже то, что ни один из методов преобразования энергии солнечных лучей пока нерентабелен. И чтобы это дело пошло, следует снизить затраты на несколько порядков. Пока даже не видно пути, как это можно осуществить.

Возьмем теперь другой пример — энергию геотермальную. Сможет ли она решить проблему? Источник заманчив. Энергетические запасы тут неистощимы, и в отличие от солнечной энергии, которая имеет колебания не только суточные, но также зависящие от времени года и от погоды, геотермальная энергия способна генерировать ток непрерывно.

Многих увлекает идея просверлить землю н добраться до глубинного тепла. К сожалению, не всегда учитывается, что нужна не температура, а энергия, и для того чтобы ее отвести из глубинных слоев, необходимы очень глубоко идущие щупальца в сторону от того отверстия, которое мы просверлили. Другими словами: нужна пористая структура, чтобы по ней можно было бы отбирать энергию от достаточно большого объема.

Еще в начале этого века изобретатель современной паровой турбины английский инженер и предприниматель Ч. Парсонс разрабатывал проект использования тепла земных недр. На глубинах 10—15 километров температура подскакивает уже до нескольких сотен градусов: в принципе можно получить пар и генерировать ток с хорошим КПД.

И вновь осечка! Из-за плохой теплопроводности (и слава богу, а то бы нам пятки жгло) земной коры, говорит физик, геотермальное тепло также не обладает достаточной плотностью потока энергии.

Правда, у нас на Камчатке действует первая в стране экспериментальная Паужетская геотермальная электростанция (сокращенно ГЕОТЭС) мощностью в 5 тысяч киловатт. Эта станция — своеобразная лаборатория, где ученые и инженеры продолжают исследовать свойства термальных вод, «доводят» оборудование, приборы, отрабатывают наиболее

выгодные технологические процессы. С момента пуска Паужетская ГЕОТЭС выработала 164 миллиона киловатт-часов электроэнергии.

И в Италии, где много вулканов и тепловые потоки достаточно мощны, геотепло успешно используется. И все же вносит лишь два процента в энергетический баланс страны. Но таких районов, богатых мощными геотермальными потоками, на планете немного.

А гидроэнергия? Она дает лишь пять процентов в общем энергетическом мировом балансе, и не больше: мощных рек, да еще в горных районах, не так-то много!

Ветер? Он крайне непостоянен, и, главное, плотность энергии опять же ничтожна.

Итак, физик настаивает: ни солнце, ни тепло земли, ни сила падающей воды, ни ветер, ни многие другие источники энергии не насытят аппетита землян. Ибо все они маломощны и могут играть лишь вспомогательную роль.

Спасительный атом

Петербург столетней давности. В первом номере журнала «Природа и охота» за 1879 год читатель мог прочесть следующее: «...Все более и более возрастающая ценность, не говоря о дровах, но даже угля, озабочивает многие ученые и неученые головы. Чем в самом деле будут топить наши потомки? Не должны ли они будут погибнуть с холоду или переселиться под тропики Африки и Южной Америки и вместо дров и каменного угля довольствоваться солнечной теплотой...»

Как видим, разговоры об «энергетическом голоде» начались не вчера.

В 20-х годах нашего века было точно подсчитано: известных запасов нефти хватит не далее чем до 2000 года, угля — до 2100-го. От других источников энергии большого проку не ждали. И полагали, что где-то в конце XXI века людям придется возвратиться, так сказать, к первобытному состоянию — к волам, лошадям, к водяным и ветряным мельницам.

Если бы надвигающийся сейчас на человечество энергетический кризис дал себя почувствовать лет 40— 50 назад, до открытия ядерной энергии, человечество, несомненно, стояло бы перед катастрофой. А человеческая культура зашла бы в тупик. Но надо отдать должное ученым. Крупнейшие из них давно осознали мощь атомного ядра.

В 1922 году в голодном и холодном Петрограде в один из январских вечеров состоялся доклад 37-летнего академика А. Ферсмана. Доклад назывался «Пути к науке будущего» Уже тогда ученый пророчески предсказывал будущее использование грандиозных запасов внутриатомной энергии. «Надо только суметь завладеть этой энергией, — говорил тогда А. Ферсман, — надо ее суметь извлечь. И что эта мысль не фантазия, а реальная возможность будущего, мы видим из того, что есть вещества, которые сами выделяют эту энергию согласно вековечным и строгим законам...»

Да, это не фантазия. Основу для оптимизма дают оценки физиков. Академик Л. Арцимович некогда писал: «Спасение приносит коэффициент 10^7. Он определяет отношение энергии, освобождаемой при сгорании ядерного топлива в урановом реакторе, и энергии, выделяющейся при сгорании равной по весу порции органического вещества в топке обычной тепловой электростанции».

Один грамм урана (частила размером с булавочную головку) по запасам энергии эквивалентен почти полутора тоннам высококачественного донецкого антрацита.

В 1979 году атомные станции нашей страны выработали более 50 миллиардов киловатт-часов электроэнергии. Простой подсчет показывает: чтобы получить столько энергии, требуется около 17 миллионов тонн органического топлива.

Прикинем вместимость железнодорожного вагона, и уже мелькает перед глазами череда товарных поездов, которые везут за сотни и тысячи километров уголь и мазут, чтобы не погас огонь в топках ТЭЦ и ГРЭС. Перевозки вынуждают с огромной нагрузкой работать железнодорожный транспорт. И это лишь один из доводов в пользу атомной энергетики.

В делах, связанных с мирным атомом, СССР всегда был впереди. Первая в мире АЭС мощностью в 5 мегаватт была пущена в Калужской области (город Обнинск) еще в 1954 году. Тогда впервые вспыхнули лампочки, зажженные энергией атома, и академик А. Александров (нынешний президент Академии наук СССР, директор Института атомной энергии имени И. В. Курчатова) произнес знаменитые слова поздравления.

Когда из контрольной трубки появился пар, он, обращаясь к И. Курчатову, шутя произнес: «С легким паром, Игорь Васильевич!»

Это было скромное начало. Первая атомная казалась карликом в стране исполинов энергетики традиционной.

Недавно академик А. Александров вспомнил те дни: «... многие считали, что атомная энергетика — это в общем скорее забава ученых и инженеров и вряд ли найдет когда-либо широкое применение, вряд ли будет конкурентоспособной с энергетикой на обычном топливе — нефти, газе, угле. Теперь так не думают...»

Даже 15 лет назад мечта о «большом атоме» оставалась мечтой, хотя и Белоярская и Нововоронежская станции уже прочно стояли на земле. Они звались опытными, потому что атомные котлы и часть оборудования были экспериментальными. И работу их оценивали не столько киловатт-часами, сколько исследованием режимов эксплуатации, необходимых для создания мощных реакторов. Да и среди обслуживающего персонала было больше физиков,

чем в ином научном учреждении. Но сейчас можно сказать: атомная энергетика сделала огромный рывок в будущее.

В отчете МАГАТЭ (Международное агентство по атомной энергии) опубликованы данные за 1978 год. Вот цифры, характеризующие масштабы атомной энергетики.

В 21 государстве из всех, входящих в МАГАТЭ, работают 227 атомных электростанций. Их суммарная мощность доведена до 110 тысяч мегаватт. Таким образом, мирный атом обеспечивает около 6 процентов мирового производства электроэнергии.

Несмотря на обильные запасы горючих ископаемых, СССР также бурно развивает атомную энергетику.

В донских степях вырастает «Атоммаш» — завод, олицетворяющий уровень техники и технологии XX века.

Волгодонск (Ростовская область), небольшой порт, родившийся вместе с Волго-Донским каналом и морем, числился перспективным. Прежде это был городок химиков, и химический завод, выпускающий синтетические жирные кислоты, построенный в пятидесятые годы, был самым крупным предприятием города. Но пять лет назад (декабрь 1975 года) из промерзших, развороченных котлованов, из донской земли начал подниматься будущий богатырь — «Атоммаш». И сегодня уже поднялись во весь рост могучие голубые корпуса нового завода.

Пять лет назад те, кто начинал строительство завода атомного машиностроения, реактор видели только на картинке. А в декабре 1978 года уже состоялся торжественный выпуск первой очереди «Атоммаша». Были введены в строй мощности по выпуску трех миллионов киловатт реакторного оборудования.

Чтобы понять, что это значит, достаточно сказать: мощность в 3 мегаватта равна 18 Цимлянским ГЭС или 12 Днепрогэсам! Так было введено в действие уникальное сооружение в области энергетического машиностроения, не имеющее себе равных в мире. Общее стремление атоммашевцев — дать первый действующий атомный реактор мощностью в один миллион киловатт, источник самой дешевой энергии.

Первый «миллионник» — только начало. Подобные блоки мощностью в миллион киловатт затем будут серийно выпускаться на «Атоммаше» для АЭС, которые вырастут в следующих пятилетках.

Ну а как же все-таки с энергетическим голодом? Достаточно ли велики запасы ядерного горючего?

Урана на Земле вдосталь. Если учесть возможность его экстракции (извлечения) из морской воды — его там что-то около 5 миллиардов тонн! — то этих запасов хватит на тысячелетия.

Однако сравнительно дешевого урана (месторождения, пригодные для разработок), подходящего для энергетических целей, на земном шаре на первый взгляд не так-то уж много.

Оценки дают цифру — 4 миллиона тонн приблизительно. В общем эти запасы соизмеримы, например, с нефтяными ресурсами. Нужно, однако, учесть: в хорошо отработанных и получивших ныне широкое распространение АЭС с реакторами на тепловых нейтронах (тепловые реакторы) практически лишь очень небольшая часть урана (около 1 процента) может быть использована для выработки электроэнергии. «Горит» лишь уран-235, а остальные 99 процентов (другие изотопы урана, например, уран-238) — балласт, идущий в отвал.

А можно ли использовать уран полнее, в идеале — на все 100 процентов? Новейшая наука отвечает — да!

Эта возможность — в широком применении атомных «реакторов-размножителей», работающих не на медленных, как у «старых» атомных реакторов (тепловых), а на так называемых быстрых нейтронах. В этом случае в дело идет и уран-238, и торий-232 (торий тоже может служить ядерным горючим), и другие изотопы.

В результате из килограмма природного урана можно получить в 20—30 раз больше энергии, чем в обычных ядерных реакторах на уране-235. А значит, можно себе позволить не только дешевый уран, но и более дорогой, который находится, например, в океанской воде, в разбавленных (бедных) рудах, в кислых горных породах. И потенциальные ресурсы атомной энергетики станут тогда примерно в 10 раз выше по сравнению с традиционной энергетикой (на органическом топливе). Но это еще не все. Реакторы на быстрых нейтронах (за рубежом их называют бридерами) переводят, оказывается, ядерное топливо из разряда невосполнимого, как уголь и нефть, в разряд практически вечных источников энергии. Попутно в процессе своей работы реактор на быстрых нейтронах перерабатывает уран-238 в плуто-ний-239, а торий-232 в уран-233. Таким образом, в бридерах «зола», «отходы» сами становятся горючим. А это в конечном счете означает практически неограниченное (с точки зрения современных масштабов) расширение потенциальных сырьевых ресурсов атомной энергетики. И реакторы на быстрых нейтронах — это не мечта отдаленного будущего, это наш сегодняшний и завтрашний день.

В молодом городе Шевченко, раскинувшемся на берегах седого Каспия, с 1973 года действует демонстрационный промышленный реактор БН-350. В нем быстрые нейтроны вырабатывают 125 тысяч киловатт электроэнергии и тепло для получения 80 тысяч кубических метров опресненной воды в сутки. А 25 апреля 1980 года

Леонид Ильич Брежнев поздравил всех тех, кто способствовал завершению строительства и вводу в эксплуатацию реактора БН-600 — третьего энергоблока Белоярской АЭС имени И. В. Курчатова. Крупнейший в мире (его мощность составила уже 600 тысяч киловатт) уникальный энергоблок станет у нас в стране прототипом промышленных быстрых реакторов первого поколения.

Атомные котельные и термояд

Но представим себе, что все электростанции стали атомными. Увы, расход природного тепла уменьшится лишь на 20 процентов. Уголь и нефть нужны химической промышленности, металлургии и так далее! А так как значительная часть электростанций СССР работает на угле, то экономия нефти и газа составит не более 10 процентов. Поэтому идет поиск путей применения атомной энергетики и в других областях. В частности, по предложению Совета Министров СССР разрабатывается оригинальная идея — «реакторов для теплоснабжения городов».

Логика вещей, казалось бы, подсказывает совместить на АЭС получение и электроэнергии и тепла. Прежде это делалось на ТЭЦ, по тому же типу будут действовать и АТЭЦ — атомные теплоэлектроцентрали. А котельные, снабжающие жителей теплом, исчезнут ли они, когда век действительно станет атомным? Нет! Останутся. Только называться они будут АСТ — атомные станции теплоснабжения.

Конечно, от прежней котельной останется очень мало. Уже первые АСТ (строительство подобных головных станций уже начато в Горьком и Воронеже) будут гигантами, рассчитанными на мощность в 1000 мегаватт (два блока по 500). Такая махина обеспечит тепловые нужды жилого массива с населением в 250 тысяч человек. Масштабы для прежних котельных недоступные.

Преимущества таких одноцелевых (только выработка тепла) установок в том, что они могут успешно функционировать, имея гораздо более низкие рабочие параметры, чем АТЭЦ. У последних температура должна быть как минимум 300 градусов. В АСТ же для прямого теплоснабжения хватит и 150—200 градусов (в теплосеть пойдут 130—150) К тому же давление вместо обычных 160 атмосфер составит всего лишь 16. Но одно тянет за собой другое. Резко уменьшаются требования к обеспечению безопасности работы таких установок. Скажем, на обычных АЭС для отвода тепла нужна специальная система насосов, их электроснабжение и так далее. В АСТ всего этого нет — достаточно и естественной циркуляции воды. Вот и получается: сам принцип конструкции АСТ, его простота не оставляют места для аварийных ситуаций или же позволяют создать надежные и недорогие защитные устройства. Насос повредился? А его в АСТ нет! Разрушился корпус реактора? А их будет два — второй страховочный.

Поэтому ввиду их полной безопасности АСТ можно будет разместить непосредственно в жилых кварталах, в 2—3 километрах от границы жилого массива. И не последний вопрос — себестоимость. АСТ окупятся за 5—6 лет... Но, может быть, дело тут не только в цене. Котельные, работающие на угле и нефти, дают газовые выбросы, загрязняющие атмосферу городов. Кроме того, АСТ разгрузят транспорт от тяжкого бремени перевозок органического топлива... Небольшие «атомные» котельные могут использоваться для снабжения теплом агропромышленных комплексов, жилья и производства в районах Крайнего Севера и Дальнего Востока. Станцию можно разобрать на блоки, самые тяжелые из которых весят 20 тонн, и доставить в любой уголок страны.

Со временем появится у атома и новая работа. Академик А. Александров, говоря о будущем атомной энергетики, подчеркивал, что атом проникнет в металлургию, химическую промышленность и другие отрасли.

Реактор с тепловой мощностью 1 миллион киловатт способен обеспечить необходимым теплом два химических комбината, выпускающих в год по миллиону тонн аммиака. Или два металлургических завода, производящих более двух миллионов тонн стали. Только вот беда — до сих пор реакторы АЭС работали при температурах 200—300 градусов, а для плавки металлов необходимы температуры выше раз в пять.

Советские ученые и инженеры приступили к разработке подобных, невиданных прежде АЭС. Называться они будут ВТГР — высокотемпературные, газоохлаждаемые реакторы. Вместо воды (она кипит при сотнях градусов) в этих устройствах будет использоваться газ, который удастся нагреть на выходе почти до тысячи градусов. Огненное дыхание позволит получить не только необходимое для промышленности тепло, но и применить на производстве более совершенные технологические процессы. Скажем, в металлургии получать железо прямым восстановлением, отказавшись от доменных печей. С помощью ВТГР можно с успехом извлекать из воды водород, который (водородная энергетика!) без ущерба для окружающей среды заменит традиционные виды топлива на транспорте, в промышленности, в быту.

А если взять такую старую проблему, как газификация угля, то трудами этих новейших реакторов превращение угля в жидкость или газ под действием высоких температур можно будет проводить прямо в шахтах, под землей. А затем уже подавать готовое топливо наверх. Ясно, при этом опасность загрязнения воздуха, земли и воды станет намного меньше.

Конечно, создание атомных установок подобного типа — задача чрезвычайно сложная. Но такая работа а СССР уже начата. Ближайшие планы — разработка опытно-промышленной атомной энерготехнологической станции с реактором тепловой мощности в 1 миллион киловатт. Но атомная энергия — это не только цепные реакции деления тяжелых атомных ядер. Есть и другая возможность — термоядерный синтез.

Пока он был реализован в неуправляемом виде в термоядерных (водородных) бомбах. Но, видимо, в обозримом будущем ученые добьются и управляемых процессов. Однако может возникнуть естественный вопрос: атомная энергетика уже имеет такие прекрасные перспективы — нужен ли еще и термояд? Да, нужен! Темпы потребления энергии на планете стремительно растут. В начале века потребление энергии в мире удваивалось приблизительно за 50 лет, в середине нашего века это удвоение происходило уже за 30 лет, а теперь — за 15—20 лет! Так что и термоядерной энергии скоро может найтись большое дело.

Следует подчеркнуть, что термоядерный синтез оказался для человека крепким орешком. На первой Женевской конференции по использованию атомной энергии (1959 год) известный индийский физик X. Баба обещал — проблема будет решена через 20 лет.

Сроки прошли, однако предсказание не сбылось. Уж очень трудную задачу (сейчас эта проблема физики номер один) взвалили на свои плечи ученые и инженеры. Ведь надо здесь, на Земле, создать условия, реализующиеся лишь на далеких звездах.

Смесь газов тяжелого водорода необходимо нагреть до температуры в 100 миллионов градусов Цельсия (в советских «Токамаках» пока достигнута цифра 60 миллионов) и удержать в этом состоянии плазму достаточно долго, чтобы реакция между водородными ядрами происходила со скоростью, достаточной для выделения энергии большей, чем затрачено на нагревание смеси. Пока же дело ограничивается секундами...

И все же, несмотря на препоны и тернии, дело идет, и несомненно, атомная энергетика в том или ином виде — это наша столбовая дорога. Иного человечеству пока не дано! И эту возможность преодоления надвигающегося энергетического кризиса подарила нам физика.

ГЛАВА 2

ЭНЕРГЕТИКА ГЛАЗАМИ ЭКОЛОГА

Аэродромы, пирсы и перроны,
Леса без птиц
И земли без воды.
Все меньше — окружающей природы,
Все больше — окружающей среды...

Р. Рождественский

«Экология» — слово новое. Термин этот, правда, еще в 1866 году предложил немецкий зоолог Э. Геккель — как «общую науку об отношениях организмов к окружающей среде...». Однако прежде слово использовали лишь узкие специалисты, в основном ботаники и зоологи, изучавшие растения и животных. Но вот пришла «взрывная» вторая половина XX века. Пора, когда всюду дружно и враз заговорили о всевозможных кризисах, подстерегающих человека. Планета вдруг сделалась маленькой и уязвимой. Выяснилось: масштабы природных явлений и человеческой деятельности уже стали почти сопоставимыми.

Один пример. Солнце посылает в среднем на один квадратный километр земной поверхности 4-Ю^{5} киловатт. Колоссальную энергию! Но уже сейчас в отдельных регионах Земли энергетический «товарооборот» человека вполне сопоставим с природным. Например, в районе Рура, густонаселенной промышленной области ФРГ, где добывается собственный уголь и имеется высокоразвитая промышленность, потребление энергии составляет 2-Ю^{4} киловатт с квадратного километра. Цифра лишь в 20 раз меньше солнечной! Это сегодняшний день. А что будет завтра, скажем, в 2000 году? Сохраним ли мы нашу планету зеленой и хотя бы сносной для жизни на ней?

Конечно, эти вопросы волнуют всех. Но ответы на них прежде всего должны дать те, кто изучает экологию человека. А их, естественно, тревожит проблема энергетики. Энергия должна быть дешевой. Несомненно. Второе: источники ее должны быть неисчерпаемы. Кандидатур много: практически вечны солнце, ветер, геотепло, атом... Однако важно еще и третье качество энергии: ее источник должен быть достаточно мощным. И вот тут почти все рядовые энергетики должны посторониться, уступив дорогу делящемуся атому.

Атомная энергетика оказалась вне конкуренции. Это наше энергетическое завтра. Все это так, но, кроме трех перечисленных качеств — дешевизны, неисчерпаемости, мощности, есть и четвертое, и немаловажное — экологичность! Не навреди! Эта заповедь должна свято соблюдаться и при поиске и отборе новых источников энергии. (Уже давно получил права гражданства термин «экологическая энергетика». В нашу литературу его ввели член-корреспондент Академии наук СССР Н. Лидоренко и профессор Г. Мучник — они успешно выступили в ЮНЕСКО по этому вопросу.). Итак, энергетика глазами эколога.

Атом излучающий

Сейчас (это уже становится общепризнанным) вся надежда на решение глобального энергетического кризиса связана с использованием ядерной энергии. И надежда вполне обоснованная. Но также хорошо известно и то, что на пути перевода всей энергетики планеты на атомную (пока она дает вклад лишь в несколько процентов) имеется ряд трудностей. Характера чисто экологического. Они уже не раз анализировались во многих статьях, докладах, работе различных комиссий. На эту тему выступали и известные физики.

Первая вполне очевидная проблема — это радиоактивность. Начинкой ядерного реактора служит смесь двух изотопов урана: урана-235 и урана-238. В результате цепной реакции, которая сама себя поддерживает, при распаде ядер урана (при этом образуются всевозможные радиоактивные осколки) выделяется тепло, его потом преобразуют в удобную для потребления электроэнергию. В отличие от угля ядерное топливо «горит» гораздо медленнее. Ядерное горючее превращается в радиоактивные шлаки лишь по истечении трех лет.

Так вот, первая проблема — это извлечение шлаков из реактора и их хранение.

Последовательность тут такова. Вначале бывшее топливо выдерживается несколько месяцев, чтобы произошел радиоактивный распад короткоживущих изотопов (особенно опасен йод-131. К счастью, его период полураспада невелик — всего 8 дней). Следующий шаг — отправка ядерного шлака на завод химической переработки, где его растворяют в кислотах и в ходе мудреных превращений извлекают из него ценные уран и плутоний: они будут повторно использованы как ядерное топливо. Все остальное становится ядерными отходами. Они радиоактивны (и остаются таковыми в течение долгих лет). От них надо поскорее избавиться.

Обычные отходы мы бросаем в мусоропровод. С ядерными отходами все гораздо сложнее. Их надо захоронить (слово-то какое!) надежно, так, чтобы по прошествии и многих

сотен лет они оставались безопасными для землян. Одни эксперты считают, что самое лучшее было бы отправить радиоактивные шлаки на ракете в космическое пространство. Этакий бездонный «мусоропровод»! Другие авторитеты предлагают на эту роль земные недра. Советуют прятать радиоактивные шлаки глубоко под землей.

Так, в США есть проект создания национального хранилища радиоактивных отбросов. И место ему уже отведено — юго-восточная часть американского штата Нью-Мексико, где контейнеры с отходами должны опускаться на глубину 600 метров в геологически стабильные гигантские соляные пласты. Считается, что даже при тотальном переходе к ядерной энергетике (400 электростанций по 100 мегаватт каждая) США потребовалось бы «кладбище» размером всего около квадратного километра.

В существующем проекте предлагается вводить шлаки в состав боросиликатного стекла типа «пирекса», из которого затем будут изготовляться цилиндрические стержни длиной в 3 метра и диаметром 30 сантиметров. Каждый такой стержень будет, в свою очередь, заключен в толстую оболочку из нержавеющей стали, И уже стальные контейнеры с отходами будут затем транспортироваться в национальное хранилище для захоронения.

Однако радиоактивны не только шлаки, но и нутро, требуха действующего реактора.

В случае аварии (например, если в реактор перестанет поступать охлаждающая его вода, он чрезмерно разогреется, его защитная оболочка разрушится и содержимое может вырваться наружу) проникшая за пределы реактора радиоактивность может на площади многих квадратных километров загубить все живое не меньше, чем атомная бомба Хиросимы. Поэтому-то и предлагались радикальные меры, например, спрятать реакторы глубоко под землей, вынести на небольшие незаселенные острова в океане.

Трудности, неожиданные проблемы — их все-таки не следует преувеличивать. Возникающие преграды не носят фатального характера. Все эти препятствия можно успешно преодолеть. Но, конечно, уже сейчас, на пороге Большой Атомной Энергетики, следует отдавать себе полный отчет в возможных последствиях.

Необходимо помнить и следующее. Приближающееся исчерпание мировых запасов нефти и газа превратилось сейчас на Западе в острейшую политическую и экономическую проблему. Многие крупные капиталистические страны импортируют почти всю потребляемую ими нефть главным образом из арабских стран Ближнего Востока.

Невозможность получения этой нефти означала бы для таких стран полный крах в течение 3—5 лет.

Острейшей ситуацией умело пользуются нефтяные монополии и картели. Нефтяные спекулянты уже основательно погрели себе руки на этом деле. Поэтому они яростно борются против атомных электростанций, которые дают возможность построить энергетику на новых основах. Этим в большой степени и объясняется подоплека шума, поднятого в последние годы в США ч странах Западной Европы вокруг строительства атомных станций. Ведь мощное развитие атомной энергетики может поставить под угрозу получение монополиями баснословных прибылей.

Атом чистый

В 1945 году под грохот взрывов атомных бомб в Хиросиме и Нагасаки человечество вступило в атомный век. Страшные картины мгновенной гибели японских городов с многочисленным населением глубоко запечатлелись в людских сердцах.

Первое практическое использование атомной энергии вызвало во всем мире тяжелый нравственный кризис. Неудивительно, что все последующее развитие атомной техники и науки проходило под пристальным, а порой даже и пристрастным вниманием общества.

К грузу тяжелых воспоминаний об атомных бомбардировках позднее добавились и мрачные оценки генетической опасности ядерных испытаний в биосфере, проводящихся в эпоху «холодной войны» и гонки ядерных вооружений.

В результате широкая общественность оказалась детально ознакомленной с отрицательными эффектами использования атомной энергии и в значительно меньшей степени с ее преимуществами и положительными сторонами.

Однако имеющийся четвертьвековой опыт работы атомных электростанций развеял много мифов и ложных предубеждений.

Уже при создании первой АЭС была поставлена сложная задача: станция должна иметь безупречную репутацию с точки зрения радиационной безопасности. И это удалось сделать: на советских АЭС и вокруг них радиационный фон даже ниже, чем, скажем, вокруг обычных промышленных предприятий.

Расчеты экологов показывают: при прогнозируемом бурном развитии ядерной энергетики к концу XX века годовая доза, обусловленная газообразными и жидкими отходами перерабатывающих заводов не превысит 1 мбэр. Это одна сотая доля дозы естественного радиационного фона, воздействие которого безопасно для человека. Такая годовая доза в три раза меньше радиационного воздействия, которому подвергается человек за время одного только полета на современном реактивном самолете!

Еще цифры. По профессиональной заболеваемости и частоте несчастных случаев практическое мирное использование атомной энергии в послевоенные годы стоит в одном

ряду со швейной и ткацкой промышленностью. Подчеркнем: несчастные случаи в основном связаны с обычными причинами: строительством, пожарами и тому подобным.

Теперь о надежности атомных реакторов. Те же количественные оценки свидетельствуют: вероятность гибели при аварии АЭС сравнима с вероятностью падения крупного метеорита. Этот риск приблизительно в 100 000 раз меньше, чем риск получить увечье в автомобильной катастрофе.

Опыт эксплуатации двух сотен энергетических ядерных блоков в течение последних десятилетий оказался положительным: атомная промышленность и ядерная энергетика относятся к отраслям деятельности человека с наиболее благоприятными условиями труда и минимумом воздействия на окружающую среду.

Совсем не то другие, широко применяемые технологии. Экологический кризис вызвала отнюдь не ядерная энергетика, а традиционная вкупе с промышленностью. Привычными деталями пейзажа XX века стали дымящиеся трубы тепловых электростанций, металлургических, цементных и химических заводов. Выбросы вредных газов из них уже сопоставимы с газовыми шлейфами вулканов. Особо печальную известность получили случаи возникновения смогов — скопления в воздухе смеси высококонцентрированного сернистого газа с дымом и фотооксидантами. Случаи летальных исходов были неоднократно зарегистрированы в Лондоне, Токио, Гамбурге, Нью-Йорке и других крупных городах мира.

Давно стало ясным: дальнейшее использование атмосферы как свалки для промышленных отходов угрожает самому существованию жизни на Земле.

В последних строках книги «Загрязненное небо» американский метеоролог Л. Баттан афористически четко сформулировал грозную альтернативу: «Одно из двух: или люди сделают так, что в воздухе станет меньше дыма, или дым сделает так, что на Земле станет меньше людей». Во всем мире теплоэлектростанции выбрасывают в атмосферу ежегодно 200—250 миллионов тонн золы и около 60 миллионов тонн сернистого ангидрида.

К 2000 году эти цифры могут возрасти соответственно до 1,5 миллиарда и до 400 миллионов тонн. Вот они, истинные виновники! Следует еще иметь в виду, что по мере истощения запасов угля энергетика будет вынуждена использовать угли низких сортов, с меньшей теплотворной способностью, с большей зольностью и с большим содержанием серы. И выброс в воздух угольной золы и сернистого газа будет еще больше возрастать.

Еще одно немаловажное соображение. Традиционная энергетика и промышленность Земли поглощают громадные порции кислорода. Так что уже возникает законный вопрос: исчерпаемо ли небо?

В самом деле, индустрия США, например, потребляет в год кислорода на 40 процентов больше, чем его вырабатывает поверхность этой страны. Очевидно, США потребляют кислород, вырабатываемый растениями, которые покрывают территорию Мексики, Канады и воды океанов... И все эти трудности в основном создает энергетика, базирующаяся на ископаемой органике.

Иное (с экологической точки зрения) — атомные электростанции. В отличие от тепловых, загрязняющих воздушный бассейн золой, копотью к дымом, АЭС зарекомендовали себя как самые гигиеничные, самые «чистые» станции.

При одинаковой электрической мощности ТЭС, работающие на органическом топливе, загрязняют в 500—1000 раз больший объем воздуха, чем АЭС.

Если теперь взять делящиеся вещества (вроде бы самое слабое место энергетики ядерной!), то и тут результаты не в пользу энергетики на органическом топливе. АЭС загрязняют внешнюю среду радиоактивными веществами, оказывается, в 10 000 раз меньше!

Подведем итоги: именно развернутое строительство АЭС станет мощным фактором защиты атмосферы от вредных промышленных отходов. И будет также способствовать (ядерная энергетика не нуждается в кислороде воздуха! Термин «горение» тут чисто условный!) сохранению неизменного геохимического режима нашей планеты.

Атом сливающийся

В апреле 1975 года на территории АЭС в Страсбурге (Франция) были взорваны две бомбы. Расследование показало: то была диверсия — враги развития ядерной энергетики пытались вызвать аварийный выброс радиоактивных веществ, накопившихся в реакторе, и намеренно загрязнить окружающие районы. Эта акция была приурочена по времени к открывающейся в Париже первой Европейской конференции по ядерной энергетике.

Вблизи зала (а иногда и в самом зале!) заседаний этого форума действовал хорошо отлаженный и отрепетированный ансамбль «демонстрантов». Они страстно выкрикивали: «Долой ядерную энергетику!», «Стоп радиоактивным отходам!», но не забывали единодушно, как по расписанию, уходить на обеденный перерыв.

Несомненно: кампания была инспирирована. И организовали ее конкуренты быстро развивающейся ядерной энергетики. Те, кому она мешала получать прежние, очень высокие прибыли. Враги ядерной энергетики пользовались и пользуются тем, что действительно не все проблемы взаимодействия этого нового вида энергетики и окружающей среды полностью решены. Ну, скажем, проблема удаления радиоактивных отходов из реакто ра. (Об этом уже говорилось выше, но тема эта крайне важна: добавим

еще несколько слов.) Для перевозки приходится сооружать контейнеры с мощнейшей защитой и системами охлаждения. А весь процесс транспортировки организовывать так, чтобы эти отходы путешествовали мелкими партиями, — при этом вероятность аварии на единицу расстояния уменьшается до ничтожной величины, и все это требует немалых затрат.

Однако важно не только увезти ядерный «пепел», но и надежно упрятать его в особых «могильниках». Где их устроить — тоже проблема. На дне океанов? Во льдах Антарктиды? В кратерах давно потухших вулканов? В космосе? Сторонники последнего предложения рассуждают так. Особую опасность представляют долгоживущие радиоизотопы — цезий, стронций, самарий, америций и кюрий. Но их немного: порядка 100 килограммов на 10 миллиардов киловатт-часов выработанной в АЭС электроэнергии. Так вот их (если не будут разработаны достаточно надежные методы окончательного захоронения отходов на нашей планете), дескать, легко удалить с Земли путем вывода на вторую космическую скорость и сброса во внешний космос. Но не всесогласны с успехом подобных проектов. По современным оценкам, надежность успешного вывода космического корабля за пределы земной атмосферы близка к 0,8 — иными словами, в 20 процентах случаев радиоактивные отходы вместо отправки их к солнцу вернутся на земную поверхность, но уже распыленными!

Еще один необычный проект — отправить радиоактивные отходы к центру Земли.

Для плавления горных пород, сквозь которые должен опускаться контейнер с опасным грузом, в принципе можно использовать тепло радиоактивного распада подлежащих уничтожению материалов. Начинать погружение можно было бы, скажем, с вертикально восходящей из недр к поверхности соляной залежи — соль хорошо плавится. Что будет с этим предложением, гадать тут трудно. Пока же испытана модель: разогревающийся изнутри металлический шарик диаметром в 5 сантиметров положили на блок парафина. Шар плавил под собой парафин и исправно в него погружался.

Нет, видимо, лучшим решением энергетических проблем было бы осуществление управляемого термоядерного процесса. Пока он реализован лишь в водородных бомбах, которые в сотни раз опаснее, чем урановая или плутониевая атомные бомбы. В бомбе все заканчивается взрывом, для энергетики же необходимо, чтобы термоядерные реакции шли непрерывно и, по сравнению с водородной бомбой, в небольших масштабах.

Достоинство этого источника энергии не только в том, что он вечен (основное горючее — изотоп водорода дейтерий — можно добывать непосредственно из вод океана, в которых он составляет $^{1}/_{6000}$ запасов обычного водорода), необычайно мощный (более мощен, чем атом делящийся: 1 грамм дейтерия в термоядерной реакции выделяет тепло, эквивалентное сжиганию при-' мерно 10 тонн угля), но главное — он безвреден для окружающей среды. Здесь не образуется в ощутимых количествах радиоактивных шлаков, нет большой опасности для населения при аварии термоядерной установки, и этот процесс не может быть использован для изготовления кустарных бомб.

Еще одно несомненное преимущество термоядерной энергетики — в наименьшей степени обезображивается лик Земли. Даже если главным источником лития на первом этапе эксплуатации термоядерных АЭС будет являться земная кора, то и тут площади земель, подвергаемых разрушению при добыче сырья, оказываются в сотни раз меньше, чем при обеспечении сырьем электростанций той же мощности на ископаемом угле. Если же получат развитие дейтериевые реакторы и сырье будет добываться из морской воды (любимый пример популяризаторов: энергия дейтерия, заключенного в стакане воды, эквивалентна сжиганию 300 литров бензина!), то ущерб, нанесенный биосфере, будет и совсем ничтожным.

Все говорит «за». Мешает лишь ядовитый вопрос *когда*? Как скоро этот процесс покорится воле исследователей?

Вначале ученым все казалось простым и доступным. Тогда физики праздновали одну победу за другой. Были созданы в рекордные сроки сначала атомная, затем водородная бомбы; еще позднее атомные электростанции. Казалось, от водородной бомбы до управляемого термоядерного синтеза, где при слиянии самых легких элементов (дейтерия или же трития) начнет, как это и происходит на солнце, выделяться обильная река энергии, казалось, эти два родственных процесса разделяет лишь короткий шаг. Однако тут самоуверенности физиков был нанесен сильнейший удар. Проходили годы, а до финишной ленточки было все еще крайне далеко. Дело дошло до того, что некоторые футурологи стали относить момент создания термоядерных электростанций чуть ли не в XXX век!

Но жизнь распорядилась по-иному. Советские «Токамаки» проложили путь к быстрому прогрессу.

Сейчас ученые уже научились нагревать плазму до «космических» температур, удерживать ее изолированной от стенок в течение секунд, научились создавать очень крупные сверхпроводящие магниты для удержания плазмы... Успехи налицо. И все же проблема остается адски сложной. Сил даже таких крупных держав, как СССР или США, уже не хватает. Поэтому за последние годы, благодаря инициативе советских специалистов, наметилось широкое международное сотрудничество. В результате разделения научного труда прогресс в этой области ускорился. Ученые рассчитывают в ближайшие годы (называют сроки 4—5 лет) в новой серии крупных установок (они будут введены в СССР, США, Японии и других странах) достигнуть всех параметров, необходимых для реального воплощения термоядерного реактора. Следующий шаг — проектирование уже международного токамака

«Интор». Оно началось под эгидой Международного агентства по атомной энергии. Цель проекта — продемонстрировать техническую осуществимость термоядерного синтеза. Успехи неоспоримы, однако вопрос когда? по-прежнему порождает споры и дискуссии.

Планете жарко

Обычно слово «тепло» располагает к неге, навевает приятные мысли. Ласково тепле солнца, тепло дружеских объятий... Но если заглянуть в ГОСТ «Охрана природы и гидросферы», слово это зазвучит угрожающе. Тепловым загрязнением, оказывается, называется поступление тепла в водный объект, вызывающее нарушение качества воды. А от нарушений, ясно, хорошего не жди!

Средняя атомная электростанция берет из реки за сутки что-то около миллиона кубов воды и возвращает ее уже подогретой на 12—15 градусов. Река утепляется. Если станций много, река, гляди, и закипит!

К примеру, на Рейне (ФРГ) есть места, где вода в 38 градусов (по Цельсию) никого не удивляет. А в штаге Огайо (США) летом вода в речках кое-где прогревается до 50 градусов.

К чему это приводит? Река буквально мертвеет. Впрочем, гибель начинается при температурах гораздо более умеренных. Ежели вода теплее естественной нормы только на три градуса, то для водных жителей уже начиняются неприятности. Сказывается недостаток кислорода, начинается нежелательное ускорение химических и биологических превращений. В теплой воде резко усиливается чувствительность рыб к токсичным веществам, а их, увы, в реках подчас вполне достаточно.

В утепленной реке хищные рыбы быстрее накапливают в своих телах вредоносные химикаты — ДДТ, ПХБ (полихлорированные бифенилы) и так далее. Тоже можно сказать и про тяжелые металлы — свинец, ртуть, кадмий, кобальт...

Есть, говорят, бактерии, способные жить даже в кипятке. Но человек ведь не бактерия! Что же произойдет, если благодаря все более усиливающемуся коллективному тепловому воздействию фабрик, заводов, ТЭЦ, атомных электростанций, ГРЭС, промышленных объектов и т. п. земному шару станет жарко? И его температура начнет неуклонно подниматься?

В деталях ответить на это нелегко, но общая картина ясна. Повышение средней температуры планеты всего на несколько градусов вызовет резкое изменение климата. Скорее всего благодаря таянию льдов Антарктики и Гренландии начнется новый всемирный потоп. Впрочем, это лишь первое, что приходит в голову. А можно было бы указать еще на многое другое. Например, нарушение в глобальном масштабе процесса фотосинтеза, что прервет кругооборот кислорода и других газов. И это также чревато различными катастрофами.

Теперь другой (спорный) вопрос: какая именно степень разогрева планеты повлечет необратимые последствия? Единого мнения нет. Кто называет критическим повышение температуры на один градус, кто — на пять. Интересно в этом отношении мнение академика, лауреата Нобелевской премии Н. Семенова. Он ставит вопрос так: «Есть ли предел использованию термоядерной энергии?» Точнее, до каких пределов могут земляне наполнять свои «закрома» энергией?

Н. Семенов рассуждал так. Пусть допустимое увеличение температуры Земли будет равно 3,5 градуса. Такой разогрев, можно подсчитать, произойдет, если тепло, выделяющееся от всех действующих на планете энергетических установок, достигнет 5 процентов от всей солнечной радиации, поглощаемой поверхностью Земли и прилегающими к ней нижними слоями атмосферы.

Сколько энергии дает Земле солнце известно (Н. Семенов называет цифру $2 \cdot 10^{13}$ килокалорий в секунду). Это число теперь надо сравнить с энергией всего добываемого топлива (нефть, газ, уголь) — $4{,}2 \cdot 10^{16}$ килокалорий в год (оценки также Семенова).

Остается простая арифметика. Итог же таков. Максимум, что можно будет взять от термоядерных установок, когда они заработают в полную силу, так это энергию, лишь в 700 раз превышающую ту, которой мы, земляне, владеем теперь. В 700 раз — это очень много. Но это и предел. Потолок для дальнейшего энергетического роста!

А что же дальше? Свертывание цивилизации на Земле? Новый, еще более устрашающий, чем теперь (в связи с исчерпанием запасов органики), энергетический кризис? Не все согласны с оценками академика Н. Семенова. Одни полагают, что «тепловой барьер» будет достигнут человечеством еще очень не скоро — через многие сотни лет. Другие и вовсе считают: этот «потолок» просто не будет достигнут.

Академик М. Стырикович считает: «Мировой опыт показывает, что при достижении странами определенного уровня развития темпы роста населения и приросты удельных расходов энергетических ресурсов на человека снижаются...»

И далее: «...можно считать, что рост потребления энергоресурсов уже в ближайшем будущем будет идти медленнее, чем в последние десятилетия, а затем, вероятно в конце XXI века, постепенное замедление роста приведет в удаленном будущем практически к постоянному уровню мирового потребления энергоресурсов, когда население планеты стабилизируется, а медленный рост душевого потребления полезной энергии будет компенсироваться повышением КПД, ее преобразования и использования».

Так что до «теплового барьера» дело, в общем, может и не дойти.

Оценки показывают: как итог развития земной энергетики к 2120 году в среднем может быть достигнута тепловая нагрузка около 2 ватт на квадратный метр. Немного: солнце на тот же квадратный метр посылает энергию в 100 ватт.

До «теплового барьера» вроде бы далеко, но «теплые» острова на планете существуют уже сейчас. Так, например, в Манхаттане — центральной части Нью-Йорка, расположенной на одноименном острове, — тепловые выбросы составляют 117 ватт/м^2.

Города расплываются подобно масляному пятну. Давным-давно перекрыта численность идеального города, которую Платон с помощью математики Пифагора определил в 5040 граждан. Ныне городом с миллионным населением никого не удивишь. Крупные города подобны асфальто-бетонной грелке: они на несколько градусов теплее окружающей местности.

В локальный разогрев планеты вносим вклад и мы. Каждый человек выделяет столько тепла, сколько дает горящая стопятидесятиваттная лампа накаливания. А в уличной сутолоке и давке это уже сотни тысяч горящих ламп!

Но, конечно, это лишь крохотная капля в море тепла, изливаемом заводами, машинами, электростанциями.

Тепловые пятна на планете могут быть локализованы не только на маленьких площадях: города или, скажем, крепости Гибралтар (6 квадратных километров]. Вся Япония (территория 600x600 км^2) представляет собой очаг сплошной тепловой интенсивности.

Такой «остров» тепла уже в состоянии повлиять на динамику региональных атмосферных процессов — существенно изменить местный климат.

Переселение, в космос!

Проблема рационального размещения на земном шаре энергетических установок стала в последние годы актуальной.

В декабре 1975 года Всемирная метеорологическая организация провела в Женеве специальное совещание экспертов. Тема — «Метеорология, производство и потребление энергии».

Как с экологической точки зрения оптимально разместить топливно-энергетические комплексы? Чтобы избежать локальных перегревов, исключить радиационную опасность, уменьшить загрязненность воздуха вредными газами. Вопросы эти непросты. Возьмем, к примеру, атомную энергетику. До сих пор в числе основных преимуществ АЭС прежде всего называли возможность исключить перевозку сотен и тысяч тонн обычного топлива и размещать станции в непосредственной близости от источников потребления электроэнергии.

Соответственно при этом сокращаются и ее потери на передачу по ЛЭП. Однако, как полагает академик Н. Доллежаль, уже в обозримом будущем, в некоторых случаях от этого преимущества, видимо, придется отказаться.

Анализ намечающихся проблем ядерной энергетики заставляет прийти к выводу, что в будущем не исключен вариант, когда наиболее рациональным, оправданным как с экономической, так и с ряда других точек зрения, станет не строительство отдельных АЭС в разных районах, а их объединение в крупные ядерно-энергетические комплексы.

На одной площадке можно будет разместить и предприятия по радиохимической переработке топлива, его нейтрализации и захоронению. А возможно, и заводы, использующие радиоактивное излучение в полезных целях.

Высокий уровень автоматизации, короткие расстояния и специализированные транспортные средства, выгоды концентрации строительных сил, экономия земель — все это с лихвой окупит затраты на передачу энергии к потребителям.

Тем более что такие ядерно-энергетические комплексы можно привязать к наиболее масштабным проектам или народнохозяйственным задачам. Объединение АЭС в комплексы создает предпосылки и возможности для обеспечения максимальной радиационной безопасности ядерной энергетики.

Далее, возможность резкого увеличения мощностей АЭС, их блоков, значительно большая свобода от ограничений, связанных с внешними сторонами их функционирования, когда отдельные процессы топливного цикла предельно воссоединены в один общий технологический процесс, несомненно, бы открыли дополнительные или даже новые перспективы для прогресса в энергетическом реакторостроении, реализации новых идей.

Например, можно было бы осуществить радиационное воздействие на долгоживущие продукты деления с целью перевода их в короткоживущие или стабильные изотопы (так называемое «радиационное пережигание»). Или, скажем, использование тепла радиоактивного распада осколков деления для промышленного и коммунального бытового теплоснабжения.

Где же разместить такие комплексы? Если говорить о нашей стране, то, видимо, место надо выбирать в районах с меньшей плотностью населения, с меньшей дефицитностью и ценностью земельных ресурсов, где есть обилие воды.

Однако необходимо, чтобы комплексы располагались сравнительно недалеко (на расстоянии 1500— 3000 километров) от сложившихся и перспективных центров потребления энергии.

К таким районам относятся земли севера и северо-востока европейской части страны.

Подобного же рода проблемы стоят и перед энергетикой США.

В американской практике реакторостроения в последние годы получило официальное признание предложение строить АЭС вблизи морского побережья на плаву, что дает явные преимущества: повышение безопасности АЭС относительно сейсмологических воздействий и снижение потенциального влияния тепловых сбросов на водную среду. Защита от волн в обычных, и особенно штормовых, условиях достигается сооружением кольцевого волнореза.

Планируется все оборудование АЭС, в том числе реактора мощностью 1150 мегаватт, размещать на стальной платформе размерами 150X122 м^2, высотой 13,5 м. Ее после монтажа отбуксируют в море и установят на якоря на расстоянии 4,8 километра от берега.

В американской литературе обсуждаются и вопросы экологической безопасности радиохимических заводов По мнению лауреата Нобелевской премии Г. Сиборга, до конца нашего века количество их вряд ли превзойдет цифру в 25—30 заводов. Поэтому проще всего изолировать их на специально выделенном «плутониевом острове».

Итак, мы видим: экологические соображения заставляют пересмотреть многие традиционные взгляды на энергетику. Кроме того, оказывается, не так-то прост найти для энергетики подходящее место на планете. Создание мощных топливно-энергетических комплексов решает многие проблемы, но не станут ли они на теле Земли своеобразными «черными дырами»?

Законы физики безжалостны: на каждую единицу полученной полезной энергии в окружающую среду должны быть отведены 2—3 единицы энергии тепловой. А это значит, что в зоне, где расположен комплекс, неизбежен колоссальный локальный перегрев.

Но из этих же рассуждений следует и неожиданный вывод: абсолютно экологически чистой энергии быть не может! Энергетическое производство по своей природе не может быть безотходным! Так как в любом источнике энергии согласно второму началу термодинамики тепловые потери неизбежны. А рост теплового загрязнения, его размеры будут, словно тень, следовать за неуклонно растущей энергетикой землян. И где-то непременно ситуация станет взрывоопасной. Поэтому говорить можно лишь о том, какой источник энергии экологически более опасен, а какой опасен менее.

Еще замечание.

Стихийность происходящих на Земле процессов и явлений (они пока лишь отчасти поддаются управлению) связана не только с тем, что человек, еще не везде живет по науке, но также с разобщенностью людей, государств, наций. Трудность та, что многие проблемы необходимо решать в масштабе всего человечества.

Надо создать такие социальные условия во всем мире, которые сделали бы возможным проведение в жизнь путей развития техники и промышленности на научной основе, обеспечивающей уравновешенное развитие цивилизации без риска катастрофы взрывного характера.

(Поразительно, но даже на Западе ряд социологов-экономистов, например крупный голландский экономист С. Маншолт, приходят к выводу: решение технико-экономических и иных проблем в глобальном масштабе может быть осуществлено только на основе социалистической организации промышленности.)

Но это уже тема для отдельного большого разговора. Нас же пока интересует энергетика и экология.

Если бы человечество навсегда было приковано к Земле, то едва ли оно могло бы решить энергетическую проблему и проблему загрязненности всей планеты. Биосфера Земли рано или поздно обязательно бы нагрелась до недопустимого уровня. Если бы... Если бы 20 лет назад для человека не началась Эра Космоса.

Производство энергии за пределами планеты — вот, видимо, выход из кризиса. Размещать энергетические установки не на Земле, а в космосе предлагает академик А. Благонравов. Есть и другие необычные идеи. Некоторые специалисты считают, что для стабилизации климата лучше отводить тепло с Земли в космос. Они говорят, что это позволит осуществить дешевая термоядерная энергия. Парадокс! Нам нужна будет энергия для отвода избыточного тепла — энергии же!

В перспективе (может быть, не такой уж отдаленной) даже самую обычную продукцию — давно известные технологические операции — выгодно будет производить в космосе.

Цель? Вывести за пределы Земли производство, которое все больше загрязняет атмосферу, водоемы, почву, изменяет в неблагоприятную сторону тепловой баланс планеты.

И первые шаги в этом направлении уже сделаны В нашей стране работы, связанные с созданием средств и методов космической технологии, были начаты еще в 1969 году экспериментом по сварке на корабле «Союз-6».

В настоящее время эта программа занимает одно из основных мест при длительных экспедициях космонавтов на станциях «Салют». И может быть, скоро наступит время (не столь уж отдаленное!), когда какая-то часть тяжелой промышленности будет перебазирована в космос, когда горнорудные предприятия, атомные и термоядерные (кстати, в условиях полного вакуума осуществить этот процесс гораздо проще) электростанции, металлургические комплексы перекочуют, возможно, на Луну или, скажем, на Марс.

Земля, ее ресурсы и возможности конечны, но безграничны просторы Галактики! И человечество станет постепенно проникать в ее бескрайние дали. Пока наша, будем надеяться, по-прежнему зеленая и голубая прародина, планета Земля, не превратится в крохотный, желанный для людей приют, маленький населенный пункт, затерявшийся среди нескончаемой вереницы освоенных человечеством величественных миров.

ГЛАВА 3

СОЛНЦЕ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УПРЯЖКЕ

Он восемь лет вынашивал идею получения солнечной энергии из огурцов, для чего помещал их в банку и в прохладные летние дни извлекал их для обогрева воздуха.
Д. Свифт

Машину времени придумал английский писатель-фантаст Г. Уэллс. Еще в 1895 году.

Очень удобно: сидя в кресле с книгой в руках, мчаться сквозь временные дали, вольно обращаясь с Прошлым и Будущим.

Подобный мысленный эксперимент доступен и для нас с вами, читатель. Перенесемся в Ашхабад, столицу Советской Туркмении. На его окраине, Бикрово, дорога приведет в городок Солнца — к Институту солнечной энергии Академии наук Туркмении и его исследовательскому полигону.

Институт солнечной энергии создан в феврале 1979 года. Это как бы знамение времени.

И вот мы сразу оказываемся где-то между эрой ископаемого топлива и эрой топлива звездного — термоядерной энергией. Вы догадались: в Бикрово уже царит эра солнца.

Солнечное тепло здесь заменяет нефть, уголь, газ, даже... лед. Оказывается, солнцем можно отапливать дома и теплицы, плавить металлы, опреснять воду, кондиционировать воздух не только в ясный день, но в пасмурную погоду, да и ночью тоже.

В последние годы энтузиасты-конструкторы создали целое семейство транспортных средств, получающих энергию для движения от солнца. Уже полетел в Англии первый «солнечный самолет» (поговаривают и о «солнечном дирижабле»). В ФРГ побежала «солнечная тележка». Они работают по одному принципу — панели с фотоэлементами вырабатывают электрический ток, который подается на электродвигатели.

Недавно житель Калифорнии Д. Дюнан сконструировал и «солнечный мотоцикл». Сверху, над сиденьем, укреплена панель с 40 фотоэлементами. Когда светит солнце, вырабатываемой ими энергии достаточно, чтобы мотоцикл мчался со скоростью до 50 километров в час. Если же солнце скрывается за тучами, в действие вступают аккумуляторы, их заряда достаточно для стокилометрового пробега.

Создана (в Италии) даже «солнечная... зажигалка». Ее не нужно заправлять ни бензином, ни газом. Она использует энергию солнечных лучей — так же, как использовал ее Сайрус Смит в романе Ж. Верна «Таинственный остров». В фокусе вогнутого зеркальца — стеклянный колпачок. Если в него поместить сигарету и направить зеркальце в сторону солнца, «экономичное» прикуривание обеспечено.

Конечно, все эти солнечные поделки погоды не делают. Гораздо серьезнее работы Института солнечной энергии — головного в научно-производственном объединении «Солнце» Академии наук Туркменской ССР, куда часто совершают паломничества специалисты из Азербайджана и Узбекистана, из Австрии и Чехословакии, с Кубы и из Латинской Америки.

Хотя Туркменистан и богат горючими ископаемыми (здесь вдоволь и нефти и газа), но гораздо более внушительно его солнечное богатство. 240 дней в году жители не знают, куда спрятаться от палящих лучей. А между тем 80 процентов территории республики занимают пустыни и пастбища для ценных каракулевых овец. Так что потребители воды и энергии разбросаны на громадных пространствах. И обеспечить их централизованным снабжением — задача технически трудно осуществимая. Это одна сторона проблемы. Другая, может быть, еще более важная — необходимо помочь сельскому труженику пользоваться всеми теми благами и удобствами, которые имеет горожанин.

Так сама жизнь заставила туркменских ученых прежде всего подумать о солнечных опреснителях — воды под песками много, но она соленая, непригодная для питья. И эту задачу успешно решают сотрудники Института солнечной энергии. Опытные образцы уже работают в чабанских бригадах в Овез-Шихе и других местах.

Но особый интерес представляют проекты гелиокомплексов, над которыми трудятся ученые института. Это двухквартирный дом. Его можно установить в пустыне или в степи, в горных или других труднодоступных районах. Домашнее отопление и охлаждение, водоснабжение горячее и холодное, все современные удобства. Рядом опреснитель, водоподъемник, теплица и кошара для отар — все на гелиоэнергетике.

В Ашхабаде разрабатываются и другие заманчивые проекты: гелиотехнические устройства для охлаждения производственных и бытовых помещений в городах, выращивания микроводорослей, богатых белковыми веществами, гелиотеплицы с замкнутым циклом водообеспечения для цитрусовых культур.

Возможно, что именно в этом институте будет осуществлена мечта биологов о гигантском синтетическом «зеленом листе», полностью закрывающем поверхность водоема и вырабатывающем тепло или электроэнергию по рецептам фотосинтеза.

Солнечная энергия привлекает людей не только своим обилием: ее количество, непрерывно получаемое Землей от солнца, чудовищно велико, оно примерно в сто тысяч раз превышает энергию, которую человечество потребляет в настоящее время! Гораздо важнее другое: сама по себе энергия солнца даровая, вечная и, видимо, экологически безвредная.

Солнечная радиация — один из естественных элементов теплового баланса земного шара независимо от того, используется ли она человеком, или нет. Поэтому она — единственный источник энергии, не связанный с риском теплового загрязнения, чем грешат и уголь, и нефть, и делящийся атом.

Отчего же люди до сих пор так слабо используют солнечные лучи? В чем тут трудности? Есть ли у солнечной энергии перспективы и какие? В этом мы и попробуем разобраться.

Спутники

Марк Клавдий Марцелл негодовал, рассматривая с высоты утеса свои горящие корабли. Поистине загадочной была эта история. Стоило его судну приблизиться к стене осажденного города, как оно вспыхивало, словно зажженная свеча.

Есть легенда, что Архимед, фокусируя слабые солнечные лучи с помощью зеркал, сжег римский флот, осаждавший Сиракузы. Во всяком случае, он оставил нам книгу «О зажигательных стеклах».

Преобразовать солнечную энергию в тепло заманчиво, но гораздо лучше сразу получать электрический ток. Фотоэффект в полупроводниках был открыт еще в 1876 году, в химическом элементе селене. О применении фотоэлементов в солнечной энергетике мечтал советский академик А. Иоффе, основатель физико-технического института Академии наук СССР. В этом институте в 30-е годы советские исследователи создали серно-таллиевые фотоэлементы с рекордным для тех времен КПД в 1 процент. Американские физики Пирсон и Фаулер в 1952 году создают кремниевые фотоэлементы с p-n-переходами. Первый успешно работающий солнечный элемент был продемонстрирован в 1953 году, а пять лет спустя для него уже нашлась серьезная работа — на спутниках.

Третий советский ИСЗ и американский «Авангард-1» (из серии ИСЗ «Эксплорер») — соответственно май и март 1958 года — были первыми космическими аппаратами, снабженными солнечными батареями.

И немудрено. В космосе солнечные лучи — естественный источник энергии. И привлекательный, ибо не требует топлива. Поэтому-то голубоватая чешуя кремниевых пластинок и покрывала часть поверхности третьего советского ИСЗ.

Но энергия, необходимая для питания приборов и для обеспечения быта космонавтов, быстро росла. И тут обнаруживается уязвимое место солнечной энергии: плотность ее потока мала. Следовательно, для орбитальных станций требуются солнечные батареи с общей площадью во многие сотни квадратных метров! Трудно поставить такой «парус» над космическим кораблем, но, по-видимому, еще труднее найти для него место во время вывода корабля на орбиту. Эту задачу пытались решить двумя способами.

В первом варианте солнечные элементы должны были укладываться на поверхность длинного нейлонового мешка. Он, как пожарный рукав, накручивался на барабан.

После выхода на орбиту рукав, полагали, автоматически будет развертываться, заполняясь газом, подаваемым под давлением, и батарея начнет работать.

Вторая конструкция была проще. На Земле солнечные батареи складывались в гармошку — в космосе такая гармошка разворачивалась.

Пока обсуждали, подсчитывали, прикидывали эти варианты, неожиданно нашелся и более мощный, и более компактный, и обладающий еще рядом других привлекательных свойств источник электроэнергии для космических аппаратов — топливные элементы. (О них мы еще будем подробно говорить в следующих главах.) Эти электрохимические источники тока и стали в космосе основным энергетическим подспорьем. Правда, лишь временно. Ибо потребляемые в космосе мощности продолжают быстро расти. Растет и продолжительность полетов. Поэтому в будущем преимущество солнечных батарей, не требующих никакого топлива и окислителя, может стать неоспоримым.

Земля

То, что кажется трудным в космосе, легко реализовать на Земле. Большие площади для солнечных батарей? Их вам предложит в изобилии любая пустыня — пустыни вроде бы самой Природой созданы для гелиоустановок.

Казалось бы, ибо тут возникает новое обстоятельство — экономика дела. В космосе проблемы «дорого», «не по карману», «слишком расточительно» — таких упреков не было.

Солнечные батареи были одним из самых дорогих источников энергии, но не надо забывать: в космосе солнечные батареи требовались почти что в единственном экземпляре — это не массовое производство!

Не то на Земле. Здесь в вопросах использования источников энергии физики и энергетики

часто вступают в спор. Физику может казаться, что если открыт способ преобразования, например, солнечной энергии в электричество с достаточно высоким КПД, то это, собственно, уже решает все проблемы.

У энергетика же немедленно возникает вопрос: а сколько стоит такое устройство? Вопрос этот, может быть, и тривиальный, но справедливый. Энергия рек, например, тоже ничего не стоит, ее не нужно добывать, как, скажем, нефть или уголь, но энергия электростанции все же не бесплатна: сооружение ГЭС обходится достаточно дорого.

В площадях для солнечных электростанций гелиотехников не ограничивают. Нужны сотни гектаров пустыни? — берите, не жалко! Но ведь при этом потребуются груды монокристаллического кремния — исходного материала для солнечных фотопреобразователей. Вот тут-то будет загвоздка: цена такого кремния еще совсем недавно приближалась к цене чистого золота. Но технология изготовления кристаллов кремния неуклонно совершенствуется и упрощается. Фотоэлементы становятся все дешевле.

Теперь более подробно о площадях, потребных для солнечной энергетики, если бы она вдруг вошла «в моду». Размеры площадей зависят от величины КПД фотопреобразователя. Расчеты физика-теоретика академика М. Леонтовича показали, что максимально возможный КПД солнечного пребразователя энергии довольно велик — 93 процента. (Максимальный же КПД, скажем, двигателя внутреннего сгорания лишь 30 процентов!)

Однако пока реальные КПД кремниевых батарей обычно лежат в пределах 10—16 процентов.

Так вот, несложная арифметика показывает, что при КПД в 10 процентов (типичное значение для кремниевых фотоэлементов, освоенных в серийном промышленном производстве для нужд космической энергетики), чтобы произвести всю электроэнергию, необходимую США, скажем, на уровне 1974 года, потребовалось бы покрыть фотоэлементами 12 с половиной тысяч квадратных километров поверхности земного шара.

Это лишь доли процента от территории США — один только магистральные автомобильные дороги в этой стране занимают существенно больше места: 50 тысяч квадратных километров.

Для того чтобы полностью удовлетворить сегодняшние потребности СССР в энергии, нужен квадрат пустыни со стороной примерно в 100 км. Это будет меньше 1 процента той территории, которая занята у нас под сельскохозяйственные пашни, что также меньше площади, занятой угольными шахтами, нефтяными промыслами и нефтепроводами.

Да, места для солнечной энергетики требуется не так-то уж много. Однако с экономической точки зрения (большие количества кремния, металлов) реализация подобных проектов затруднительна.

Для удовлетворения нужд Большой Энергетики все же проще жечь уголь, ту же нефть, строить новые атомные электростанции.

Конечно, понятия «дорого» и «дешево» довольно относительны.

На площадях, ограниченных сороковыми параллелями, проживает около 80 процентов населения планеты. И количество солнечной энергии, которое можно было бы получить в этих районах, стоило бы сравнить не с годовой производительностью современной электростанции — около $3x10^9$ киловатт-часов, — а с работой, совершенной парой волов — 1000 киловатт-часов в год.

Полезно также сопоставить годовую стоимость получения солнечной энергии и затраты на 25 тонн фуража, необходимого для питания этих волов!

Все это так. Критерии при подходе к энергетике у индустриальной державы и у развивающейся страны, конечно, разные. И тем не менее пока гелиотехники все же предпочитают не расстилать полупроводниковые ковры.

Электроэнергия от солнечных батарей в 100(!) раз дороже, чем поступающая с тепловых электростанций. Поэтому-то экономика вроде бы напрочь закрывает солнечным батареям путь в практику.

Казалось бы, неодолимое препятствие? Да, если использовать фотоэлементы традиционным образом. А нетрадиционный путь, новый взгляд на старые вещи дали ленинградские ученые.

Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе, или просто физтех. Из его стен вышло около 30 академиков. Вот в этой «кузнице» советской физики в лаборатории контактных явлений и полупроводников, которой руководит академик Ж. Алферов, и родилась радикально новая идея по использованию солнечных батарей.

Поток солнечных лучей слаб — нужны гигантские площади, покрытые фотоэлектрическими преобразователями, что крайне дорого. А что, если предварительно усилить солнечное излучение? «Усилить» солнце с помощью вогнутых зеркал и уже потом направлять на преобразователи концентрированные пучки лучей?

В установке, которую создают ленинградцы, на фотоэлементы будет падать теперь в 2500 раз большая энергия. А это означает, что во столько же раз можно уменьшить и площадь солнечных коллекторов. Или, наоборот, при том же количестве фотоэлементов получить мощности в 2500 раз большие! Но, главное, при этом «солнечное» электричество станет дешевле, чем от обычных электростанций.

Но серьезных проблем пока немало.

Ленинградцы любят показывать приезжим такой эффектный опыт. Берут пинцетом лезвие безопасной бритвы и помещают его в фокусе одного из зеркал. Минута, другая — и

лезвие, стремительно пройдя все стадии нагрева, начинает плавиться, роняя ослепительно белые капли металла. И все это при вовсе не жарком ленинградском солнце.

Лезвие сделано из великолепной стали, можно представить, что сначала творилось с фотоэлементами в потоке столь яростного света, — они вспыхивали как солома. Пришлось ученым создавать новые фотоэлектрические преобразователи — достаточно жаропрочные. Но даже им потребовалась система для отвода избыточного тепла.

Ученые из физтеха считают, что их разработки уже в ближайшее время могут быть с успехом применены в портативных энергетических установках, например, для геологических партий, ведущих разведку вдалеке от населенных пунктов. Работая «на солнце» в течение дня, такая установка даст тепло и ток не только для бытовых нужд, но и для питания поисковой техники.

А дальше появятся и стационарные электростанции большой мощности. Разместившись в южных районах страны, они внесут ощутимый вклад в энергетику. Первый шаг в этом направлении уже сделан: в содружестве с коллегами из Ташкентского физико-технического института Академии наук Узбекистана ленинградцы сооружают серию крупномасштабных опытных фотоэлектрических установок.

Но использование для ловли солнечных лучей фотоэлементов — это лишь один из возможных вариантов, есть и другие. В любом дачном поселке можно встретить такую нехитрую гелиоустановку. Сорокаведерный металлический, окрашенный темной краской бак, водруженный на деревянный помост или крышу сарая. Солнечным летним днем вода в баке может нагреваться до 40—50 градусов. Эта идея стара как мир.

Еще в 1878 году на Всемирной выставке в Париже демонстрировалась солнечная паровая электростанция, основной частью которой было большое зеркало, фокусирующее солнечные лучи на специальный котел. Такие установки затем были построены в Калифорнии (1901г.), в Египте (1913 г.).

В 50-х годах у нас, в СССР, в лаборатории гелиотехники Энергетического института имени Г. М. Кржижановского, была спроектирована для Араратской долины (близ озера Айгерлич) в Армении станция подобного же типа.

Предполагалось на вершине 35-метровой башни установить плоский котел, вращающийся за солнцем вокруг вертикальной оси. Башню должны были окружать железнодорожные пути — 23 концентрически расположенных колеи. Идущие очень медленно (в ритме солнца!) по рельсам поезда везли бы тележки-вагоны с отражателями (всего около 1300 зеркал).

Рисунки общего вида этой грандиозной станции были очень эффектны, в свое время они обошли страницы всей мировой научно-популярной печати. 2,2 миллиона киловатт-часов электроэнергии в год должна была давать эта одна из самых крупных в мире солнечных электростанций. Цифра внушительная. Однако эксперименты на уменьшенных макетах электростанции не радовали: общий КПД установки достигал лишь 5 процентов.

Кроме малого КПД, были и другие трудности. Система (большое количество движущихся частей и необходимость строгой синхронности) оказалась очень сложной и малонадежной, требующей большого ухода и надзора. Так что дальше опытной установки дело не пошло.

Но эта заманчивая научная мечта не умерла. Летом 1980 года в Алуште, на Южном берегу Крыма, где щедрое солнце и ясное небо, началось строительство первой в СССР экспериментальной базы по использованию солнечной энергии. Важно то, что алуштинская база будет продолжать эксперименты уже в производственных условиях

Так, к примеру, начато проектирование солнечных электростанций следующего типа. Тысячи огромных зеркал образуют гигантскую плоскую чашу, в центре которой взметнется к небу трехсотметровая башня. На ее вершине укрепят парогенератор. Отраженные солнечные лучи нагреют воду до кипения. Образовавшийся пар приведет в действие турбину. Мощность этой электростанции 5 мегаватт. Но уже следующая станция будет в 40—50 раз мощнее.

До сих пор мы рассуждали о том, сможет ли и когда солнечная энергетика удовлетворить нужды энергетики «промышленной», где еще немало нерешенных проблем. Иное дело — энергетика «бытовая». Тут «желтый уголь» в большом почете и уже довольно широко используется.

У нас в стране, особенно в республиках Средней Азии — Узбекистане, Туркменистане, существуют проекты домов, которые должны обогреваться и охлаждаться с помощью солнца. В них широко используются и фотоэлементы. Особенно в небольших источниках тока, питающих автономные установки, расположенные где-нибудь вдали от населенных мест. Сюда относятся, например, маяки и навигационные знаки на морях и озерах. Приборы, работающие высоко в горах, в пустынях и так далее.

Правда, и здесь возникают неожиданные проблемы и осложнения. К примеру, оказалось необходимым периодически чистить концентраторы и приемники солнечных лучей от... загрязнения! Возможно, со временем, если солнечная энергетика войдет в силу, даже появится новая специальность «солнечных чистильщиков», или как там их окрестят!

Другой пример. На одном весьма авторитетном техническом совещании кто-то однажды забеспокоился: а вдруг верблюды или овцы (речь шла о гелиоустановках для пустынных пастбищ) будут чесаться о зеркала? Что тогда? Не закроет ли их шерсть поверхности отражателей?.. Да, в новом деле могут быть всякие сюрпризы.

Консервированное солнце

От древних греков пришла к нам легенда о титане Прометее, который похитил на небе огонь и принес его людям. А нельзя ли подобно Прометею похитить солнечное тепло, законсервировать его, а через день, неделю, даже месяц, словом, когда понадобится, использовать эту энергию?

Можно! В нашей стране с таким принципиально новым направлением в науке, названным солнечной тепло-химией, еще лет двадцать назад выступил азербайджанский ученый Г. Мамедбейли.

Предложенный им рецепт консервации солнечного тепла был прост. Возьмем кусочек известняка и выставим его на солнце в летний знойный день. Под действием солнечной энергии из известняка (он состоит из трех элементов: кальция, углерода и кислорода) начнет бурно выделяться углекислый газ.

Но это еще не все. Кладем теперь кусочек обожженной солнцем извести в воду. Известняк начинает кипеть, выделяя большое количество тепла и превращаясь при этом в так называемую гашеную известь. Следовательно, обжигая известняк летом солнечными лучами, мы даже через длительный промежуток времени сможем получать тепловую энергию. Следует подчеркнуть, что известняк можно использовать многократно.

Не только известняк обладает таким замечательным свойством — умением консервировать солнечное тепло. Если расплавить солнечными лучами гидрид лития, а затем остудить его, то в процессе кристаллизации выделится тепло, которое ранее было затрачено на его плавление. Это свойство солей лития и некоторых других солей используется гелиотехниками при создании солнечных батарей — аккумуляторов тепла.

Уже существуют экспериментальные дома, обогреваемые установками, похожими на парники. Только под стеклом не вода, как в теплицах, а соли лития. Днем, нагреваясь на солнце, они плавятся, а ночью, затвердевая, через теплообменники и систему центрального отопления отдают свое тепло домам.

Интересно сравнить тепловые аккумуляторы по энергетическим характеристикам с нефтью, углем и дровами. Возьмем для примера тот же гидрид лития: у этого вещества одно из самых больших значений скрытой теплоты плавления. Всего за 17 циклов аккумулирования (за счет поглощения дарового солнечного излучения) один килограмм практически не расходуемого вещества накапливает столько энергии, сколько ее можно получить при сжигании килограмма нефти. Если провести такое же сравнение с углем и дровами, то получим соответственно 10 циклов и 3—4 цикла зарядки.

Подсчитано и другое: чтобы обеспечить бесперебойное снабжение планеты энергией за счет солнечной радиации, необходимо было бы иметь тепловой аккумулятор, рабочее вещество которого весило бы несколько миллионов тонн. Тогда как ежегодная добыча топлива (в расчете на условное) составляет сейчас многие миллиарды тонн!

Но исследования «плавящихся» тепловых аккумуляторов ведутся не только на бумаге. Эти работы у нас в стране возглавил член-корреспондент Академии наук СССР Н. Лидоренко. Прежде всего были перепробованы многие вещества-кандидаты — фторид лития, окислы бериллия, магния, алюминия, кремния и так далее. Все они, как и гидрид лития, могут стать рабочим телом будущих тепловых аккумуляторов. Кроме экспериментов и теоретических расчетов, на Северном Кавказе проводятся и натурные испытания тепловых аккумуляторов — прототипов промышленных. Уже сейчас можно сказать, что эти устройства выходят за пределы лабораторий и скоро будут использованы для бытовых нужд и в сельском хозяйстве.

До сих пор мы говорили о том, что солнечная тепло-химия способна давать людям тепло, но с помощью аккумуляторов, оказывается, можно получать и ток! Вот один из вариантов подобных систем.

Рабочим органом установки служит параболическое зеркало, оно постоянно перемещается за солнцем с помощью специальной следящей аппаратуры. Создать требуемую высокую температуру в 800—1000 градусов Цельсия в энергопоглотителе, расположенном в фокусе зеркала, можно только при условии высокой концентрации солнечных лучей. Под действием созданных в зоне энергопоглотителя высоких температур серный ангидрид SO_3 (в качестве исходного материала можно использовать и другие вещества, например, аммиак или соединения метана) разлагается на сернистый ангидрид SO_2 и кислород. Продукты реакции подаются в емкости для регенерации. В регенерационных печах в присутствии специально подобранного катализатора происходит реакция соединения компонентов в исходное вещество. При этом температура повышается до 500 градусов Цельсия.

Итак, цикл замкнулся, но при этом мы получаем уже не тепло, а желаемый ток. Для вращения турбин электростанций можно использовать или непосредственно сернистый ангидрид, или пар, полученный за счет тепла, выделяющегося при реакции восстановления.

Часть сернистого ангидрида без особых трудностей можно вывести из технологического процесса регенерации, перевести в жидкое состояние и поместить в емкости на долгосрочное хранение. Чтобы потом в удобный момент использовать химическую энергию этого соединения. И это лишь один из многих вариантов по использованию

консервированного солнца.

Зеленый головастик

Аккумуляторы солнечных лучей — а ведь они уже есть и существуют на Земле миллионы лет. Это растения. Действительно, растительность развивается, усваивая лучистую энергию солнца и преобразуя ее в химическую энергию углеродистых соединений. Сжигая древесину, человек преобразует тем самым эту энергию в тепловую (чем не аккумуляторы тепла!). В сверкающем черном угле, в нефти и сланцах нам снова светит солнце, которое веками (!) запасало там свою лучистую энергию.

И, возвращаясь теперь от тепловых аккумуляторов к проблеме фотоэлементов, заметим: то, что пока в солнечной энергетике не удается человеку — создать на Земле грандиозные площади, покрытые дешевыми фотоприемниками, — то для изобретательной природы давно уже пройденный этап.

Известно: хлорофилл растений умеет ловко улавливать солнечные кванты. И, говорят, общая площадь листвы растений планеты, этого конденсатора солнечной энергии, равна поверхности планеты-гиганта Юпитера!

При этом Природа использует не дорогой монокристаллический кремний, а дешевую органику. Отчего же не последовать этому примеру?

Но тут, чтобы хорошо понять дальнейшее, следует хотя бы кратко вспомнить ту главу из долгой двухвековой истории исследований фотосинтеза, которая посвящена хлорофиллу.

В 1817 году французские фармацевты Пельтье и Каванту впервые выделили из листьев их зеленую начинку — хлорофилл.

И вот уже полтора столетия ученые многих стран упорно исследуют это загадочное вещество. По числу публикаций хлорофилл, вероятно, занимает первое место среди всех химических соединений, и этот список непрерывно пополняется.

Сейчас в любом учебнике по физиологии растений можно найти «портрет» этой молекулы. Структурная формула хлорофилла занимает целую страницу. Хотя истинные его размеры предельно скромны — 30 ангстрем (ангстрем — одна стомиллионная доля сантиметра).

Молекула хлорофилла похожа на... головастика. У нее плоская квадратная «голова» (хлорофиллин) и длиннющий «хвост» (фитол). В центре головы, словно глаз циклопа или алмаз в царской короне, красуется атом магния.

Зачем нужна столь сложная конструкция? О, этот вопрос вызвал долгие споры.

Еще Фламмарион поставил изящный опыт. Растения росли у него в оранжереях под светофильтрами, пропускавшими только определенные лучи солнечного спектра. Под голубыми лучами растения развивались хуже всего, лучше при зеленом, и наиболее пышный рост наблюдался при красном освещении.

Мнение Фламмариона — красные, лучи наиболее желательны растениям — оспаривали немецкие ученые Их глава, профессор Юлиус фон Сакс, считал: ростки в основном поглощают желтые лучи. В то время все восхищались тем, как просто продемонстрировал Сакс факт образования в листе крахмала. Углерод, взятый растением из углекислого газа воздуха, откладывается в крахмал, учил Сакс, и доказывал это положение экспериментально.

Он брал зеленый лист, выставлял одну его половину на солнечный свет, другую же закрывал непроницаемым экраном. Спустя некоторое время он, опустив лист в спирт, обесцвечивал его (лишал хлорофилла), затем обрабатывал весь лист йодом. И вот в той половине листа, которая была выставлена на свет, обнаруживался крахмал: она синела или чернела от йода. Однако другая, затемненная, часть листа цветной реакции с йодом не давала: крахмала в ней не было!..

Но вот в спор Фламмариона с Саксом вмешался русский ученый К. Тимирязев. В серии блестящих экспериментов он дал полное решение этой проблемы.

К. Тимирязев заставил растение, так сказать, собственноручно «расписаться» в том, что прав был Флам-марион. Он использовал оружие своих научных противников — «крахмальную пробу» Сакса.

К. Тимирязев сумел-таки уложить на отдельном листе весь солнечный спектр, целиком! После обработки йодом он получил амилограмму (по-гречески «амил» — «крахмал», «грамм» —«оттиск», «запись»).

На листе был виден ряд полосок. Среди них выделялась одна наиболее темная: она была расположена не в том месте, куда, пройдя сквозь призму, падали желтые лучи, а там, где должна была бы красоваться красная полоска спектра...

Но и в спектр электромагнитных волн входит не только видимый свет — также инфракрасное излучение, ультрафиолет, космические лучи гигантских энергий... Отчего же растения обходятся лишь видимым светом?

Ответ прост: инфракрасные лучи несут фотоны (световые корпускулы) очень малых энергий. Крошечных: они не способны вызвать химических изменений в молекулах. (Так фотолюбители проявляют в красном свете, чтобы не засветить фотопленки.)

На другом полюсе ультрафиолетовое излучение настолько богато энергией, что способно погубить зеленый росток: эти лучи вызывают ионизацию и разрушение химических связей. Это «дубинка», все сокрушающая на своем пути.

К счастью, для всего живого слой озона в атмосфере почти полностью задерживает ультрафиолетовую часть солнечного спектра.

Вот и получилось: «питаться» растения могут лишь энергией видимого света. Но и этот участок непрост: есть желтые, зеленые и другие лучи. Отчего же растение предпочитает красные? И тут нашелся ответ. Красные лучи наиболее интенсивны (слабее всего рассеиваются атмосферой). Так в процессе длительной эволюции растения постепенно выбрали для себя наиболее подходящий участок энергии.

Но удивительнее всего в исследованиях хлорофилла то, что человек уже научился получать хлорофилл искусственно.

Это сделал в 1960 году американский химик-органик Р. Вудворд. То был крупный успех: одно дело разгадать состав и структуру этой знаменитой молекулы, совсем иное — синтезировать ее искусственно!

Вудворд создал множество шедевров органического синтеза. Он воссоздал хинин, стрихнин, кортизон, резерпин, холестерин и ланостерин, хлорофилл и витамин B_{12}, тетрациклин и другие важные и чрезвычайно сложные природные соединения.

В 1965 году за эти работы Вудворд был удостоен Нобелевской премии.

Над синтезом хлорофилла Вудворду пришлось изрядно потрудиться Он возглавил громадный коллектив ученых-химиков. Ведь полный синтез хлорофилла включал в себя до 30 стадий!

Завет Фредерика Жолио-Кюри

Зеленый цвет вовсе не обязателен для каждого фо-тосинтезирующего организма. Так, водоросли в большинстве случаев желтые, бурые, оливковые, красные или синие, но не зеленые. И на суше некоторые растения имеют желтые или красные, а не зеленые листья.

Но в какие бы одежды ни рядились фотосинтетики, ключевую, доминирующую роль в них играет зеленый пигмент — хлорофилл. Всякий раз, когда пигментная система «цветного» фотосинтетика подвергалась тщательному научному анализу, в ней обязательно находили и хлорофилл.

Невольно рождается мысль: хлорофилл — это избранник Природы, ее «любимчик». В нем чувствуется даже нечто мистическое. Словно эта молекула — ключ к разгадке какой-то глубокой тайны живого, так много сулящей практике.

С исследованиями хлорофилла всегда были связаны большие надежды. Люди давно мечтают о техническом воплощении фотосинтеза, о дне, когда маститый ученый на глазах у благоговеющей публики совершит чудо.

Солнечный луч создаст из углекислого газа и воды «ложечку сахара» в пробирке, и мы перестанем быть в рабской зависимости от плодов, поставляемых биосферой. От капризов погоды, скудости почв... Так рассуждали не только простые неученые граждане. Сам К. Тимирязев писал:

«Тогда явится находчивый изобретатель и предложит изумленному миру аппарат, подражающий хлорофилловому зерну, — с одного конца получающий даровой воздух и солнечный свет, а с другого — подающий печеные хлебы...»

Поэтому-то искусственный синтез хлорофилла Вудвордом был принят «на ура». То была научная сенсация. В популярной литературе того времени это замечательное достижение приравнивалось к решению (и окончательному) всей проблемы фотосинтеза, и даже революции в производстве пищи!

Увы! Революция не состоялась. Ученые знатоки фотосинтеза давно уже поняли всю неизмеримую сложность грандиозной проблемы. Двухсотлетний опыт исследований показывает: не существует одной загадки фотосинтеза, а есть целый ряд ключевых вопросов. И механизм действия хлорофилла лишь один из них.

Блестящий синтез хлорофилла, осуществленный Вудвордом, ничего не решал окончательно, и потому человек еще не может создать «ложечку сахара» в пробирке.

Однако в последние десятилетия наметился еще один заманчивый путь. Ученые пытаются создать технические устройства особого рода, которые бы помогли нам обуздать солнечную энергию, воспользоваться ее неисчерпаемыми запасами. Фотосинтез захотел породниться с энергетикой!

У нобелевских лауреатов, всемирно известных физиков Ирен и Фредерика Жолио-Кюри были дочь Элен и (младший) сын Пьер. Элен, окончив, как и отец, с отличием Школу физики и химии, тоже посвятила себя ядерной физике: пошла по стопам родителей. Но Пьер... Он занялся биологией! Его увлекли загадки фотосинтеза, тайны зеленого листа.

Каприз? Бунт? Дух противоречия? Вовсе нет! Оказывается, любимой научной идеей Ф. Жолио-Кюри, ученого-атомника, одного из «крестных» атомной энергетики, была мысль о непосредственном использовании энергии падающего на Землю света.

Как-то в один из приездов в Советский Союз в беседе с нашими учеными Ф. Жолио-Кюри здесь же, у доски, сделал простейшие подсчеты.

Вышло: если бы на малой части пустыни Сахары (скажем, территория Египта) при помощи соответствующего оборудования молено было бы использовать хоть 10 процентов солнечной

радиации, то этой энергии с лихвой хватило бы для нужд всей планеты. Но еще поразительнее слова Ф. Жолио-Кюри, оставленные им как завещание будущим поколениям ученых: «Хотя я верю в будущее атомной энергии и убежден в важности этого изобретения, однако я считаю, что настоящий переворот в энергетике наступит только тогда, когда мы сможем осуществить массовый синтез молекул, аналогичных хлорофиллу или даже более высокого качества...»

Странные все-таки слова для физика-ядерщика! Человека, который одним из первых создал атомный реактор — сердце атомной электростанции.

Что это, причуда гения? Прихоть беспокойного, вечно мятущегося ума? Научное кокетство? Ни то, ни другое, ни третье. Это, как сейчас выясняется, трезвый взгляд в будущее.

Обыкновенный полупроводник

А началось все с практического вопроса: как помочь промышленности в борьбе против выцветания красителей.

Вещества, которыми красят, например, ткани, поглощают свет. Мельчайшие порции световой энергии — фотоны разбивают молекулы красителя, и он разрушается, выцветает.

Когда в первые послевоенные годы в лаборатории академика А. Теренина в Ленинграде стали изучать эти процессы, неожиданно выяснилось, что красители типичные полупроводники.

Но если на минуту отвлечься от проблем собственно фотосинтеза и взглянуть на дело широко, то все пигменты, которыми наполнены листья растений, также предстанут перед нами как рядовые великой армии красителей!

Среди многообразных соединений органической химии, красители выделяются интенсивным поглощением видимого света. Это и обусловливает их яркие цвета: поэтому их и используют с давних пор для крашения.

(Получение знаменитого в древности пурпура было связано с действием света и представляло, несомненно, фотохимическую реакцию. То же можно сказать и про беление тканей.)

Но, кроме эстетики, тут кроется и физика: красители — мощные приемники солнечной радиации, именно они способны превращать ее в иные формы. А. Теренин, всю жизнь изучавший взаимодействие света и вещества, не мог не увлечься красителями и пигментами. Эта тема на долгие годы становится одной из ведущих на его фотохимических семинарах.

И вот в ходе этой работы флёр таинственности начал спадать с хлорофилла. А что, если хлорофилл тоже всего лишь типичный полупроводник? И действует в зеленом листе по тем же прописям, что и его технические собратья? Но как это доказать?

Дело, начатое А. Терениным, было продолжено уже в Москве, в Институте биохимии Академии наук СССР, его сотрудником, ныне академиком, А. Красновским.

Надо было создать простейшие модели тех сложных явлений, которые идут в живом листе, что и сделали советские ученые. И внешне эксперимент выглядел весьма эффектно. Если зеленый лист опустить в спирт, то хлорофилл в нем растворяется, а лист, лишившись хлорофилла, становится бесцветным. Зеленый раствор хлорофилла и в пробирке, как это ни удивительно, служил для ученых моделью живого листа.

А теперь главное. (Научные тонкости и подробности мы опускаем.) Поставим пробирку на окно, на солнце — она вскоре начинает краснеть. Минут через десять жидкость становится совсем красной.

Убрали пробирку снова в темноту — и о чудеса! Красный цвет раствора постепенно вновь сменяется зеленым...

В этих превращениях заключен глубокий смысл. А. Теренин и А. Красновский показали: хлорофилл — всего лишь полупроводник. Это тот «насос», который в зеленом листе, повинуясь энергии солнечных лучей, «перекачивает» электроны.

В сказке про глупых жителей одного города говорится, будто они сначала построили дом без окон, а *потом* долго и упорно таскали в него мешками солнечный свет.

Абсурд, нелепица! Но хлорофилл и другие пигменты как раз и являются такими «световыми мешками», или лучше «антеннами», способными улавливать излучение солнца и преобразовывать его в химическую энергию продуктов фотосинтеза.

Квант света образует в этой молекуле пару: электрон — дырка. В листе по «электронно-транспортной цеги», словно по медной проволочке, течет микроток. И структура молекулы хлорофилла, обладающей очень развитой системой сопряженных связей, прекрасно приспособлена для этого дела. Поэтому-то для возбуждения электронов молекулы хлорофилла достаточно квантов красного света с довольно скромным запасом энергии.

Другая, не менее замечательная особенность хлорофилла — способность легко отдавать окислителям электрон, возбужденный в результате поглощения светового кванта. Благодаря этой особенности хлорофилл и восстанавливает — конечно, не напрямую, а через множество промежуточных этапов — углекислый газ воздуха до углеводов.

Вот эти замечательные свойства (один из центральных процессов, составляющих суть

фотосинтеза) и удалось искусственно воспроизвести А. Теренину и А. Красновскому.

То был крупный успех советской науки. Не случайно работа ученых демонстрировалась в 1958 году в Брюсселе на Всемирной выставке.

Вот наконец мы в состоянии оценить слова, сказанные когда-то Ф. Жолио-Кюри. Энергетика и фотосинтез, оказывается, они не столь уж далеки друг от друга.

Ведь если хлорофилл — полупроводник, то появляется надежда создать особые «зеленые фотоэлементы», в которых под действием света будет образовываться и совершать работу электрический ток.

Природе можно бросить вызов

Ф. Жолио-Кюри скончался в 1958 году. А в 1959-м американские исследователи В. Арнольд и Е. Маклей впервые предложили и сконструировали батарею, содержащую пигменты растений — хлорофилл и каротин. Это устройство уже умело преобразовывать свет в электричество. Правда, оно было еще очень и очень несовершенным.

Работы в этом направлении велись и в СССР в Институте химической физики Академии наук СССР под руководством доктора физико-математических наук Г. Комиссарова.

В 1968 году эта группа построила «фотовольтаическую батарею». Это была модель зеленого листа, способная осуществлять трансформацию световой энергии в электрическую. Ее параметры год от года улучшались. Сейчас КПД уже достиг нескольких процентов. (Любопытно, что в соответствии с заветом Ф. Жо-лио-Кюри советские исследователи вместо хлорофилла использовали его аналог — фталоцианин. Молекулы эти менее капризны, чем хлорофилл, более доступны и лучше вписываются в технику, совместимы с ней.)

В 1961 году американскому химику М. Кальвину была присуждена Нобелевская премия за изучение так называемых «темновых процессов»: в них в зеленом листе из углекислоты воздуха образуются углеводы. (Этот процесс называют «циклом Кальвина».)

А теперь Кальвин предложил использовать хлорофилл (идея Ф. Жолио-Кюри!) непосредственно в технике.

Кальвин и его сотрудники обнаружили, что хлорофилл способен под действием света отдавать свои электроны некоторым полупроводникам, находящимся с ним в контакте.

Использовав в качестве полупроводника окись цинка, ученые создали хлорофилловый фотоэлемент, в котором на свету возникает ток плотностью около 0,1 микроампера на квадратный сантиметр поверхности элемента. Не много! Да и хлорофилл уже через несколько минут «выдыхался» — десенсибилизировался: терял способность отдавать электроны.

Правда, и в растении случается такое, но в листе на смену «сгоревшим» молекулам хлорофилла синтезируются новые.

Тогда, чтобы продлить действие зеленого фотоэлемента, ученые добавили в электролит (вода с примесью солей, в которую был погружен хлорофилл) еще и дополнительный источник электронов — гидрохинон.

Считается, что в такой системе хлорофилл действует как «электронный насос»: он отнимает электроны у гидрохинона, переводит их на более высокий энергетический уровень и отдает полупроводнику.

По оценкам Кальвина, такой вариант «зеленою фотоэлемента» площадью в 10 квадратных метров мог бы уже дать мощность около киловатта.

Ученые полагают: лет через 20—30 может стать реальностью промышленное производство хлорофилла и стеклянных листьев. И те, кто ходит сейчас в школу, возможно, пойдут работать на фабрики, производящие дешевые (раз в сто дешевле, чем нынешние кремниевые батареи) зеленые фотоэлементы.

Подобный прогноз может показаться слишком смелым. Однако не следует забывать, что синтезировать искусственно хлорофилл мы уже умеем.

Давайте помечтаем.

Земной шар опоясан желтой лентой пустынь. Чтобы окинуть взглядом этот пояс, не обязательно быть космонавтом. Достаточно крутануть рукой миниатюрную модель нашей планеты — школьный глобус. Лента пустынь вдоль экватора волнует воображение не только школьников. Она давно уже приковала внимание ученых-гелиотехников, энергетиков.

Как мы представляем себе, скажем, Аравийскую пустыню — безжизненное, выжженное солнцем пространство, покрытое бескрайними песчаными волнами. Редко-редко встретишь здесь закутанных в белоснежный бурнус арабов. Это бедняки. Они пасут скот, ловят рыбу и ныряют в прибрежных водах за жемчугом.

Нефтяной бум смазал идиллическую картинку. Жизнь этих краев резко изменилась. Вот, к примеру, маленький Кувейт, расположенный на западном побережье Персидского залива. Миллион триста тысяч жителей всего, а добывается тут 100 миллионов тонн нефти в год. Каждая тонна стоит 150 долларов — поэтому на жителя Кувейта приходится что-то около 10, а то и 15 тысяч долларов в год.

Но ничто не вечно под луной! Несколько лет назад по Кувейту разнесся слух, будто бы запасы нефти истощатся через 15 лет. Началась паника: кому охота поменять службу в

банке на занятие полуголого ныряльщика за жемчугом!

Но, быть может, главное богатство Кувейта и других, расположенных в пустынных областях стран не быстро исчезающие нефть и газ, а неисчерпаемое, вечное солнце? Его горячие, щедрые лучи?

Конечно, при нынешнем уровне техники, чтобы перекрыть пустынные земли гигантской сетью коллекторов солнечного света, потребуется столько металла, сколько не смогут дать все известные ныне месторождения. А сколько потребуется дорогостоящего монокристаллического кремния!

Другое дело, если техника будет опираться на зеленые фотоэлементы, обходящиеся без металлов и полупроводников, действующие по рецептам живой природы, построенные из дешевой органики' и недефицитных материалов.

Не станут ли тогда пустыни и расположенные на них страны самыми богатыми областями Земли? И не сбудется ли тогда пророчество советского академика А. Иоффе, который некогда говорил и писал:

«Солнце, в течение тысячелетий бывшее проклятием пустыни, сделается ее благословением».

ГЛАВА 4

ДИНОЗАВРЫ ЭНЕРГЕТИКИ?

Скажи, как ты используешь топливо, и я скажу — в каком веке ты живешь!

Примерно сто миллионов лет назад, в мезозойскую эру, лик Земли был иным.

В это первое великое сплошное лето жизни Земля была покрыта роскошной, сочной растительностью тропиков. Среди оранжерейной флоры бродили сказочные звери. Самыми удивительными среди них были динозавры (буквально: «удивительные, необыкновенные, ужасные ящеры»; название 140 лет назад предложил знаменитый английский палеонтолог Р. Оуэн) — одна из самых разнообразных и загадочных групп рептилий, или пресмыкающихся.

Внешний облик динозавров подчас кажется фантастическим — настолько они непохожи на известных нам животных. Но, пожалуй, больше всего поражает их громадный рост.

То были гиганты с телом длиной до 25 метров и более. Подобная махина могла бы запросто перегородить улицу Горького в Москве или, скажем, Калининский проспект. Динозавр мог свободно заглянуть в окно 5-го этажа...

Развитие гигантизма у хищных динозавров («ящер-разбойник» тиранозавр и другие), по-видимому, было связано с параллельным развитием гигантизма и у растительноядных динозавров — этой пищи хищников.

Для хищников крупный размер означал возможность большой добычи так же, как для растительноядных животных крупный размер был одной из форм защиты от хищников.

Так и началось (а пищи в ту пору был вдоволь!) это соревнование в росте, хотя, конечно, всегда был какой-то предел, определявшийся комплексом биохимических и физиологических закономерностей.

Но вот климат начал меняться, суроветь. И к началу кайнозойской эры (тому 70 миллионов лет, в этой эре живем и мы, люди, уже один миллион лет) произошло «великое вымирание» динозавров: они исчезли. Причины вымирания и сейчас до конца не ясны. Динозавров, видимо, убил холод, но почему им не удалось приспособиться к новым условиям? Почему, скажем, уцелели крокодилы, жившие одновременно и рядом с динозаврами?

На это есть особая теория ортогенеза, или прямолинейной эволюции: эволюция видов по предопределенному прямому пути, направление которой не зависит от естественного отбора.

Согласно этой теории динозавры были тупиком в эволюции, поскольку эволюционный механизм, приводивший к выживанию наиболее крупных животных, вместе с тем закрывал путь для их дальнейшего совершенствования.

Читатель вправе спросить: а какое все это имеет отношение к энергетике? Где они — динозавры энергетики? Что это за странная аналогия?..

Вопросы справедливые — на них нужно отвечать.

Энергетическое похолодание

Вряд ли можно утверждать, что еще вчера на планете царил «энергетический мезозой», но сравнительно недавно имелась масса неиспользованных возможностей и ресурсов, казалось, неисчерпаемых для развития общества.

Экологических и прочих ограничений для научно-технического прогресса было немного. Во всяком случае, эти проблемы не волновали человечество. И, как следствие, энергетика землян была энергетикой расточительной. Потребление энергии неуклонно росло, но геологи открывали все новые и новые кладовые нефти и природного газа. Но аппетит человечества рос стремительно, и сегодня энергетический рай грозит стать энергетическим адом. И теперь за рубежом нередко высказываются (чаще всего спекулятивные и антинаучные) пророчества о наступлении Энергетического Судного Дня человечества. Во всяком случае, получает все большее распространение концепция так называемого «нулевого роста» в производстве энергии на душу населения.

Многие специалисты (в том числе и советские) считают, что рост потребления энергоресурсов уже в ближайшем будущем будет идти медленнее, чем в последние десятилетия, а затем, вероятно в конце XXI века, постепенное замедление роста приведет к практически постоянному уровню мирового потребления энергоресурсов. Еще недавно идею нулевого роста встречали, как некогда приверженцы системы Птолемея встретили теорию Коперника. «Традиционалисты» объявили подобные мысли необоснованными, а высказывающих их ученых — некомпетентными.

Однако число сторонников нового взгляда на развитие энергетики растет. В августе 1979 года школа бизнеса Гарвардского университета, далеко не чуждая интересам деловых кругов США, дала «благословение» экономии энергии.

Свой отчет, озаглавленный «Будущее энергетики», авторы заключили следующими слешами: «Соединенные Штаты способны потреблять на 30—40 процентов меньше энергии, чем сейчас,

без каких-либо неблагоприятных последствий для образа жизни американцев. Наоборот, будут сэкономлены миллиарды долларов, меньше бремени ляжет на окружающую среду, воздух будет меньше загрязняться, уменьшится растущая и тревожащая зависимость от нефти ОПЕК, и общество меньше будет страдать от внутреннего и внешнего напряжения».И все же удивительно! Еще недавно энергетики утверждали: пусть нефти мало, да, ее хватит лишь на десятки лет, но угля — уже на сотни, а энергии атомного ядра — на тысячелетия. Природные запасы энергии практически бесконечны. Так в чем же дело? Нет ли здесь противоречия? Оказывается, нет. Оказывается, природные запасы энергии и энергетические ресурсы — это не одно и то же. Тут в дело вступают экономические соображения. Они-то и ограничивают энергетические ресурсы Прежде всего растут затраты на поиск и разработку энергоресурсов и материалов, на преобразование, транспорт и использование энергии. Не последнюю роль играют тут экологические ограничения. Важно принять в расчет и то, что сроки создания и освоения новых, как правило, более сложных и дорогостоящих энергетических технологий и отраслей велики — они исчисляются десятками лет. Огромны также затраты на доведение новых энергетических технологий до степени технической и экономической зрелости. И получается: возможности человека далеко не безграничны, как это может показаться с первого взгляда. Известна, говорят некоторые специалисты, экономическая закономерность: чем выше комфорт, тем дороже он обходится. Та же связь в производстве и потреблении электроэнергии: за потребление весьма удобного и исключительно комфортного вида энергии мы платим при его производстве довольно дорогой и всевозрастающей эколого-экономической ценой.

Проблемы экономии энергии обсуждают члены многих американских обществ. «Союз встревоженных ученых» — организация, объединяющая поборников охраны окружающей среды, «Друзья Земли» — тут изучается экономика энергоресуров, и так далее.

Они говорят: «Экономия обходится вовсе не дешево — просто это дешевле, чем не экономить». И еще: «Экономить куда дешевле, чем строить новые электростанции».

Ну' что ж: на протяжении своей истории человечество множество раз меняло взгляды и привычки, в зависимости от наличия или недостатка того или иного природного ресурса.

Видимо, в будущем нам придется менять свою энергопотребительскую психологию и привычки. Кто знает, может быть, скоро модными станут, как в старину, вечера при стеариновых свечах...

Пока же, если по-прежнему говорить о США, американцы пересаживаются в малолитражные автомобили (они экономнее тратят бензин), улучшают теплоизоляцию в домах, рационализируют (с точки зрения энергетики) технологические процессы и предусматривают в проектах зданий средства для отражения солнечных лучей летом и сбора солнечной энергии зимой. Полагают, что новые небоскребы, которые там сейчас строят, смогут обеспечить комфорт не хуже, чем здания, проектировавшиеся в 60-х годах, но — и это главное! — при вдвое меньших затратах энергии. Среди прочих нововведений в них предусмотрено вторичное использование отработанного тепла компьютеров, ламп освещения и даже тел обитателей! Этих бесценных калорий, которыми когда-то так пренебрегали, хотя бойлеры в котельных не уставали пожирать топливо для их возмещения.

И при социализме

Цена нефти на мировом рынке за последние годы многократно возросла. В богатейших капиталистических странах мира три миллиона человек лишились работы только по причинам энергетического кризиса.

Но мы, люди иного социального строя, не платим дороже за электроэнергию, отопление или за билет в автобусе. И никого это не удивляет. Мы родились при социализме и не можем себе представить, чтобы нас не защитили от любых ударов такого рода.

У нас нет кризиса. Но это не означает, что энергию можно беззаботно транжирить. Тут следует напомнить, чего стоит добыча каждой тонны нефти, каждого кубометра газа там, среди болот, тайги и тундры, на мерзлоте.

Освоение Западной Сибири зовется подвигом не зря. Добывать нефть на тюменской земле — совсем не то, что в Баку и Поволжье. Еще не раз будут писать о подвигах тех, кто добывает нам нефть, уголь и газ. Но никому не придет в голову сочинить оду экономии электроэнергии или, скажем, написать об этом рассказ.

А ведь простое рассуждение показывает: гораздо выгоднее уменьшить расход топлива на тонну, чем на ту же тонну увеличивать ее добычу. Хотя бы потому, что эту тонну невозобновимого природного горючего мы сохраним!

Так что тема экономии энергии вполне достойна пера поэта или прозаика. Нет героизма? Борьбы? Преодоления трудностей? А вот и ошибка: помех и трудностей тут сколько угодно.

Экономия энергии дается гораздо труднее, чем рост энергодобычи. Ведь нужно «перековать» психологию потребительства — а потребители все! (Не то, что добыча энергии — этим делом занимаются немногие.)

Люди никогда не отличались единством взглядов, но в вопросах экономии энергии

требуется единодушие. Такое же, как у пассажиров, едущих на одном корабле. Как будет решена проблема экономии энергии, как удастся изменить людскую психологию, сделать экономность непреходящей модой, привить к этому делу вкус. — сказать сейчас трудно. А пока?

Пока в социалистических странах принимаются простые и конкретные меры.

По расчетам ученых, превышение установленной в помещении температуры на 1 градус увеличивает расход энергии на отопление на 3—5 процентов. Поэтому постановлением Совета Министров ГДР введены нормы отопления для зданий разного назначения. Для квартир норма — 19—21 градус. Ночью подача тепла в дома уменьшается.

Другая возможность экономии — сдвигать, сообразуясь с сезоном, ритм жизни людей (время работы, отдыха).

В Чехословакии обычное время начала утренней смены — 6—7 часов, учреждения работают с 7—8-ми. В 6—7 открываются продовольственные магазины.

В ГДР с 1980 года введено «летнее время»: с 6 апреля по 28 сентября все часы переводятся на час вперед. Это ведь и здоровее: пользоваться солнечным светом вместо электрического. А экономия немалая. Четыре таких электростанции, какой станет по проекту Саяно-Шушенская, надо пустить на полную мощность, чтобы в наших квартирах зажглись лампочки по скромной норме — 100 ватт на человека.

В нашей стране, с ее громадными размерами, одним простым переводом часов по сезону не обойдешься. Ведь когда в Москве полночь, во Владивостоке начинается рабочий день.

Более действенная мера — собрать по возможности всю энергию страны, так сказать, в один кулак и, умело маневрируя ею, бороться за экономию.

Такое централизованное энергоснабжение осуществляет Единая энергосистема страны (ЕЭС СССР). Это крупнейшее в мире энергообъединение: оно простирается на территории 7 часовых поясов, охватывая более 700 электростанций общей мощностью свыше 210 миллионов киловатт.

Более того: в ЕЭС СССР на параллельную работу соединены Монголия, а также объединенные энергосистемы Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, Румынии и Чехословакии. Это первый этап образования гигантского энергообъединения социалистических стран общей мощностью около 300 миллионов киловатт.

Кроме того, из ЕЭС СССР электроэнергию получают Финляндия, Норвегия и Турция.

Хозяйство большое и сложное. Организовать такую работу непросто. Но и результат ощутим: уже сегодня ЕЭС СССР выигрывает до 12 миллионов киловатт энергетических мощностей лишь от использования ее маневренных возможностей. Распределение мощного потока энергии, контроль за ним осуществляются из одного пункта — центрального диспетчерского управления (ЦДУ). В ЦДУ всегда знают, какая из телевизионных программ самая популярная. Когда разом включаются все телевизоры нашей страны, надо включить не менее двух Братских ГЭС...

Конечно, в странах СЭВ проводятся и более простые средства экономии энергии. Вот некоторые из них. В Польше для экономии бензина скорость движения автотранспорта на дорогах ограничена. То же сделано и в ГДР. По оценкам, в масштабах ГДР это даст экономию 70 миллионов литров горючего в год. В Польше, кроме того, ограничена и мощность двигателей легковых автомобилей.

Во всех европейских социалистических странах не раз за последние годы повышались розничные цены на бензин.

В Болгарии цена теперь 1 лев за литр — это примерно 1 рубль 10 копеек. Думаете, частники покупают «левый» бензин у шоферов государственных машин? Нет. Бензин для общественных машин подкрашивают. И если автоинспекция обнаружит подкрашенный бензин в бензобаке личной машины, ее тут же конфискуют. А шофера, пойманного на продаже государственного бензина, увольняют с потерей права вождения машины на три года.

В Болгарии же введены ограничения на движение слабо загруженных автомашин и автобусов, легковых служебных машин. Запрещено использование персональных служебных машин в нерабочие дни, кроме поездок для служебных целей с разрешения руководителя.

В Венгрии с января 1981 года в панельных зданиях будет использоваться более толстый слой теплоизоляционного материала. Каждые 10 кубометров такого материала экономят энергию, эквивалентную 1 тонне нефти в год.

Список энергонововведений, экономящих калории и топливо, можно было бы продолжить. (Штрафы за растрату энергии — разбавление бензина водой: бензин, оказывается, в присутствии воды сгорает лучше...) Но полезнее осознать и запомнить простую истину.

Время — это не только деньги, как мы привыкли повторять Ибо в этой пословице ценность времени выражена все-таки недостаточно хлестко. Время — это энергия. Как показывает последний опыт человечества, энергию, как и время, часто не купишь ни за какие деньги.

Телега с восьмицилиндровым двигателем

До сих пор мы рассуждали об экономии уже готовой энергии. Ну а ее получение — насколько эффективны подобные процессы? Насколько рационально используются еще остающиеся в земных закромах органические топлива? Увы, картина тут не очень отрадная.

Костяк современной нашей энергетики — тепловые паротурбинные электростанции — ТЭС. Они работают на угле, нефти, газе, мазуте. Система превращения топлива в электрическую энергию, на которой основаны ТЭС, многоступенчата. Тепло сгорающего топлива нагревает воду в котле, вода превращается в пар высокого давления, пар приводит в движение огромную турбину, которая, в свою очередь, передает вращение на ротор электрического генератора, находящегося в сильном магнитном поле. От этого движения в медных обмотках ротора и возникает электрический ток.

Громоздко, многоступенчато, а значит, и не без потерь. Но современные электростанции создавались во времена, когда считалось, что запасы топлива на Земле практически неисчерпаемы. Не имело особого значения, сколько его будет потрачено, лишь бы получить желаемое — электрический ток. Что и было достигнуто с высокой для тогдашнего положения степенью совершенства.

Sed alia tempora! (Иные времена!) Сейчас, в эпоху энергетического похолодания, когда калории стали считать, должны измениться и требования к ТЭС и другим поставщикам энергии. Эффективность превращения энергии должна поневоле стать в энергетике проблемой номер один.

Чем выше коэффициент полезного действия (КПД) энергетической установки — отношение полученной электроэнергии к теплотворной способности топлива (тому запасу энергии, которое в нем заключено), — тем меньше отходов, меньше загрязняется окружающая среда, меньше расход топлива.

Но ТЭС, говорят нам, доживают свой век. Уже и замена готова — атомные электростанции. У них, видно, все будет по-иному. И вновь увы! Промышленное освоение ядерной энергетики не привело и вряд ли приведет к сколько-нибудь кардинальному снижению расходов на производство электроэнергии. Цены энергии тепловой (ТЭС) и ядерной (АЭС) оказались примерно одинаковы.

В чем причина? В том, что нынешняя атомная и даже будущая термоядерная электростанции, по существу, тоже являются электростанциями тепловыми. Только в них топка парового котла (источник тепла) заменена ядерным или термоядерным реактором.

Но это значит: все недостатки, присущие паротурбинному способу (а его преимущественное использование сейчас и в предвидимом будущем, видимо, сохранится) преобразования тепла в электроэнергию, останутся.

И хотя одни недостатки, связанные со сжиганием органического топлива (например, выбросы золы и вредных газов в атмосферу) устраняются, появляются новые. И борьба с ними или сведение к минимуму их действия (скажем, проблема радиации на АЭС) требуют значительных усилий, затрат и времени.

Создавшуюся ситуацию очень хлестко охарактеризовал известный популяризатор науки профессор А. Китайгородский. «Пусть простят меня технологи, — пишет он, — но сегодняшняя атомная электростанция напоминает мне телегу, которую движет великолепный восьмицилиндровый двигатель.

«Порок» современной атомной электростанции заключается в том, что мы еще не умеем преобразовывать энергию атомного ядра непосредственно в электрическую. Приходится сначала получать тепло, а затем превращать его в движение теми же дедовскими способами, которые существуют с момента изобретения паровой машины. Из-за этого невысок и коэффициент полезного действия атомной электростанции. И хотя это является общим дефектом всех тепловых станций, но все-таки досадно, что проблема отъема тепла и из ядерного реактора должна решаться громоздкими, технически несовершенными средствами.

Не это ли является причиной того, что доля энергии, которую дает расщепленный атом, в общем энергетическом балансе измеряется всего несколькими процентами? Это несмотря на то, что атомная техника существует уже 35 лет!»

Карно

Чтобы отчетливо понять настоящее, полезно сделать временной (исторический) разбег. Сейчас стоило бы поговорить о том, отчего тепловые машины столь несовершенны. Что это? Недоделки, недоработки инженеров? Или, напротив, фундаментальный принцип, перешагнуть который нельзя?

И тут нам трудно обойти молчанием, не помянуть имени Карно.

Карно (1796—1832), французский физик, сын Л. Карно (крупного государственного и военного деятеля эпохи французской революции и времен Наполеона I). Шестнадцати лет Карно поступил в Политехническую школу, окончил ее через два года и получил назначение в инженерные войска. С большим рвением занимался он делами, далекими от военного: математикой, физикой, химией, биологией, политэкономией, музыкой. Видимо, поэтому в 1828 году Карно оставил военную службу. За всю свою жизнь он опубликовал лишь одно, но гениальное произведение: «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу». 1824 год. Это был, по существу, пролог новой важной науки —

термодинамики (хотя Карно ошибочно рассматривал теплоту как некоторую невесомую жидкость — теплород). Можно только гадать, как много мог дать науке гений Карно, ибо он скончался в возрасте 36 лет во время эпидемии холеры.

Паровую машину, прабабушку всех ТЭС и ГРЭС, изобрел, как известно, англичанин Д. Уатт. В 1769 году он получил английский патент № 013, где уже были изложены почти все его основные идеи.

Первые паровые машины были крайне несовершенны. Во времена Карно их коэффициент полезного действия — та часть энергии, выделяющейся при сжигании топлива, которая реально могла пойти в дело, на совершение полезной работы, — составлял лишь от 5 до 7 процентов. Это значило, что от 93 до 95 процентов энергии тратилось впустую. Отчего так мал КПД тепловой машины? Можно ли его повысить? Где лежат пределы максимальной производительности железных помощников человека?

Все эти вопросы волновали военного инженера, сотрудника генерального штаба Франции Никола Леонарда Сади Карно. И он в своей книге дал на них точный и однозначный ответ.

Суть единственной работы Карно его потомки ухитрились ужать, уложить в одну-единственную формулу. Вот она:

$$\dot{\eta} = 1 - T_2/T_1,$$

где $\dot{\eta}$ — максимальный коэффициент полезного действия (теоретический, идеальный, выше этой величины уже невозможно подняться!) паровой (тепловой) машины, а T_1 и T_2 — максимальная и минимальная температуры тепловой машины: температура самой горячей ее точки (пар, нагретый газ) и самой холодной — соответственно на входе в машину и на выходе из нее.

Карно, несомненно, был одним из первых физиков-теоретиков. Он ставил вопрос в самой общей форме: «О получении движения из тепла». При анализе работы паровой машины он не учитывал никаких специфических свойств рабочего тела (пара) и самой паровой машины. Поэтому и выводы его универсальны: их можно распространить на любой тип тепловой машины — дизельного двигателя, турбины...

Любой агрегат, где тепловая энергия превращается з механическую (к примеру, в движение поршня при расширении нагретых газов), должен подчиняться ограничениям Карно. А теперь поиграем с цифрами. Взглянем на формулу Карно. В ней температуры T_1) и T_2 должны быть взяты в градусах Кельвина. (Напомним, что температура таяния льда — ноль градусов по Цельсию — есть плюс 273 градуса по Кельвину, а абсолютный ноль по Кельвину есть минус 273 градуса по Цельсию.)

Итак, глядя на формулу, мы видим, что все тепло удалось бы превратить в работу, если бы можно было получать на выходе из машины продукты, охлажденные до абсолютного нуля, то есть иметь $T_2 = 0$.

Увы, это невозможно. Минимум температуры задается окружающей нас средой: это, скажем, 20 градусов по Цельсию, или 293 по Кельвину. Вот и получается железный вывод: принципиально нельзя построить тепловую машину, в которой все тепло превращалось бы в работу.

Что же остается? Остается ради увеличения КПД в формуле Карно по возможности поднимать температуру T_1. Ведь при ее неограниченном увеличении, очевидно, КПД машин будет стремиться к 100 процентам! Но и тут нас ждет разочарование.

В современных паротурбинных (на смену паровым машинам Уатта лет через сто пришли более совершенные турбины) блоках тепловых и атомных электростанций температура водяного пара не превышает 600 градусов Цельсия. Или 873 градуса Кельвина. И получается, что идеальный КПД для этих установок есть

$$873 - 293/873 = 0{,}6\ (60\%).$$

Но 60 процентов — это оценка сверху! Реальные цифры оказываются значительно меньше. Их можно получить не по Карно, а из цикла Ренкина.

Куда теряется 60—70 процентов первоначально извлеченных (скрытых в топливе) запасов энергии? О, тут масса лазеек! Трудно добиться полного сгорания топлива, достичь полного охлаждения горячих газов. Часть энергии уходит на трение и необратимый переход тепла. И так далее.

Вот и результат: для современных поршневых паровых машин и двигателей внутреннего сгорания реальный КПД не превышает 30 процентов, а для более совершенных устройств — паровых и газовых турбин — 40 процентов. Следует еще раз подчеркнуть, что цифра эта вряд ли изменится в будущем. За два века изобретатели и инженеры «выжали» из тепловых машин все! И их КПД достиг предела.

Вот почему с таким энтузиазмом были, например, приняты работы по созданию МГД-генераторов. Ведь в них поток горячей плазмы нагрет до 2500—3000 градусов Цельсия. Температура T_1 в формуле Карно резко возрастает!

Но опять неувязка! Одновременно в этих устройствах растет и температура T_2: плазма на выходе из магнитогидродинамического генератора все еще остается очень горячей (те же

тысячи градусов). Поэтому МГД-генераторы могут эффективно работать лишь в сочетании с обычной паротурбинной установкой.

И суммарный выигрыш в КПД оказывается не таким уж великим. Удается достичь лишь цифры в 50 процентов. (Со временем исследователи, работающие над усовершенствованием МГД-установок, надеются получить показатели повыше: 60 процентов.)

Однако будем справедливы: и этот вроде бы небольшой привесок в 10 процентов (от 40 до 50) в масштабе, скажем, такой страны, как наша, дает колоссальный прирост энергии Если бы все ГРЭС СССР удалось перевести на МГД-метод, то был бы достигнут громадный экономический эффект.

Гигантизм поневоле

Сто лет назад изобретатель электрического освещения П. Яблочков мечтал о времени, когда электричество будут вырабатывать на особых «фабриках» и затем распределять по домам подобно тому, как водопровод распределяет воду.

Эти фабрики электричества — ТЭС, ГРЭС, АЭС — уже построены и становятся все мощнее.

Огромный зал Чудовищной величины узлы монтируемой турбины и маленькие фигурки людей, собирающих эту махину.

Современные ТЭС — с чем сравнить эти колоссы? С мамонтом, динозавром?.. Отчего эти железные «звери» энергетики, пожирающие астрономические количества угля и нефти, становятся с каждым годом все крупнее? Оправдывается ли тяга к гигантизму?

У нас в стране в 1913 году единичная мощность турбоагрегата составляла всего лишь 500 киловатт. Через 40 лет на Черепетской ГРЭС был уже пущен турбоагрегат мощностью 150 тысяч киловатт.

А за последние 20 лет единичная мощность турбогенератора возросла с 200 до 1200 мегаватт (1200 тысяч киловатт).

Машины стали столь крупными, что возникла проблема: как перевозить их по железной дороге? Проектировщики вынуждены «вписывать» все более мощные турбогенераторы в практически неизменный объем.

О размерах энергоагрегатов говорят хотя бы следующие цифры. Для размещения уникального энергоблока-гиганта мощностью 1200 тысяч киловатт на Костромской ГРЭС пришлось возвести машинный зал длиной свыше 80 метров и высотой, равной 15-этажному дому!

От ГРЭС не отстают и атомные гиганты. Так, корпус третьего энергоблока Белоярской АЭС взметнулся ввысь на 60 метров!

Что дает гигантизм? Прежде всего более высокие значения КПД.

Вспомним формулу Карно. Поднять температуру пара (T_1) можно, повышая его давление. Но внедрение агрегатов с высокими параметрами пара немыслимо без резкого увеличения их мощности.

В 20-х годах нашего века температура пара не превышала 350 градусов (по Цельсию) при давлении до 15 атмосфер. Сейчас же на современных электростанциях температура пара уже достигает 500—600 градусов, а давление — нескольких сот атмосфер.

Пробиться к более высоким показателям трудно. Мешает «тепловой барьер». При таких громадных давлениях и температурах паропроводящая труба будет нагреваться до свечения.

Нужны особые теплоустойчивые сплавы. Тут не годится даже металл, идущий на двигатели реактивных самолетов и ракет. В этих двигателях он работает при температуре около тысячи градусов всего лишь 100— 200 часов, а в турбинах и котлах электростанций он должен выдерживать 600—700 градусов уже 100 тысяч и более часов!

Итак, энергетические гиганты требуют миллионы тони высокожаропрочных специальных сплавов. Но стоимость материалов, способных сохранить работоспособность в таких трудных условиях — влажность, высокие температуры, высокие скорости вращения — сегодня непомерно велика.

Это и ограничивает максимальный КПД ТЭС цифрой в 40 процентов. И если в начале тридцатых годов перспективы развития энергетики многие связывали с использованием высоких давлений, то теперь так не думают.

Однако гигантизм энергетических машин привлекателен еще и по другим причинам. Полезно сопоставить технико-экономические показатели ТЭС различной мощности. При увеличении мощности станции с 200 до 1200 мегаватт стоимость одного киловатта мощности снижается со 150 до 80 рублей. Численность обслуживающего персонала на каждую тысячу киловатт, или так называемой «штатный коэффициент», уменьшается с 4 до 0,5 человека. Почти вдвое сокращается удельный объем главного корпуса станции: число кубометров здания, приходящееся на один киловатт установленной мощности.

Давно подсчитано: на изготовление агрегата мощностью в 300 тысяч киловатт затрачивается в полтора раза меньше труда, нежели на изготовление трех турбин по 100 тысяч киловатт каждая. Еще пример: при одинаковых затратах металла и труда и при равноценной экономичности можно построить три агрегата по 500 тысяч киловатт вместо четырех агрегатов по 300 тысяч киловатт, выиграв, таким образом, производительность

целого агрегата.

Эти и другие доводы и вынуждают энергетиков строить все более и более мощные фабрики энергии. Но есть ли пределы гигантизма?

Недавно в ленинградском объединении «Электросила» был изготовлен самый мощный в мире двухполюсный турбогенератор на 1200 мегаватт со скоростью вращения ротора 3000 оборотов в минуту.

Специалисты считают: видимо, предельные мощности турбогенератора — 2500 мегаватт (3000 оборотов в минуту).

Напряженность механических конструкций возрастет настолько, что центробежные силы разорвут узлы даже из самой прочной стали. Понадобятся непомерно большие роторы.

Но, прибавляют те же специалисты (ведущий среди них академик И. Глебов), более мощные машины все же возможны, но они будут работать уже на других физических принципах. С использованием сверхпроводимости.

Специалисты обещают создать промышленные криотурбогенераторы мощностью в 3000 мегаватт на рубеже нового века.

Так что соревнование исполинов энергетики в силе и размерах продолжается!

Баллада о паровозе и ящере

Жил-был паровоз. Когда-то он был маленький и только еще учился ходить.

Изобретатели пытались поставить его на ноги в буквальном смысле слова. История техники знает несколько моделей паровозов, снабженных ногами. Ведь паровоз вроде бы должен был заменить лошадь...

Паровоз рос, мужал, вошел в моду. Но и тогда, когда он был в зените славы, находились люди, скептически смотревшие на могучего красавца. Они говорили:

— Со странным чувством смотрю я на эту машину. Испытываю такие же ощущения, как если бы мне пришлось видеть мамонтов и знать, что скоро они все до единого вымрут. И только в слоях вечной мерзлоты (читай: в музеях истории техники) будут изредка встречаться их поросшие рыжим волосом огромные туши (огромные железные тела, в которых давно погас огонь)...

Ученые еще спорят, кто извел мамонтов, но почему исчез паровоз, тут нет разногласий. Он, оказывается, ел за десятерых, а работал вполсилы. И человек отказался от него.

Из каждого килограмма угля, что поедал бедолага-паровоз, на пользу ему шло всего-навсего 70—80 граммов. Другими словами, лишь 7—8 процентов энергии топлива шло в дело, остальное вместе с дымом вылетало в трубу.

Паровоз сменили тепловозы, вооруженные уже не паровой машиной, а двигателем внутреннего сгорания. Главным достоинством тепловоза был его КПД — 28 процентов

История паровоза (нынешние дети его совсем не знают, путают с тепловозом) печальна и поучительна. Особенно в наш век всепроникающей экономии, пользы и эффективности... А мощь Тепловых электростанций или действующих во многом по тем же рецептам атомных все растет.

Тепловая мощность реакторов двух блоков крупиейшей в мире (видимо, и сегодня) АЭС «Библис» (ФРГ) составляет 7800 мегаватт, крупнейшей в нашей стране Нововоронежской АЭС — порядка 5000 мегаватт. Для реакторов РБМК, преобладающих в ядерно-энергетической программе десятой пятилетки, характерна величина от 3,2 до 6,3 тысячи мегаватт.

Гигантизм (мы убедились в этом выше) ведет к экономии, если исходить из существующих, пока еще далеких от совершенства приемов расчета экономических показателей или экономического эффекта при энергетическом производстве.

Однако в этих показателях не заложен (конечно, это очень трудно сделать!) экологический коэффициент. Строго говоря, надо было бы действовать не так. Следовало бы рассматривать современное энергетическое производство как функционирование единой и сложной эколого-экономической системы.

Надо было бы оценить рублем, скажем, тепловые сбросы. К примеру, на АЭС.

На первый взгляд проблема тепловых сбросов с АЭС внимания не заслуживает. Широкую общественность по чисто психологическим мотивам («синдром атомной бомбы») больше беспокоят проблемы радиации. Однако на деле биосфера надежно защищена от радиационного воздействия АЭС: их дозы на фоне естественного облучения, выражаясь языком Лескова, и «в мелкоскоп не увидишь».

А вот реки тепла, которые ежесекундно извергают фабрики электричества, — это уже дело более серьезное!

Для борьбы со сбросовым теплом сооружаются пруды-охладители с большой поверхностью зеркала. К примеру, только для создания пруда-охладителя станции нынешней типовой мощности 4 миллиона киловатт (типа, скажем, Ленинградской АЭС, состоящей из 4 блоков) требуется водоем с акваторией примерно 20—25 квадратных километров. При этом, как правило, используется пойма реки, то есть наиболее плодородные земли.

Если учесть, что только к началу следующего века потребуется освоить или начать осваивать под станции десятки площадок, в сумме получится территория более чем внушительная.

Но есть еще и другая сторона этой же проблемы. Уже сегодня тепловые и атомные электростанции ежегодно потребляют на охлаждение сотни кубических километров воды. Эти цифры близки к среднегодовому стоку такой крупной реки, как, скажем, Днепр.

Где взять столько воды? И какие это будет иметь экологические последствия?

Но главное все же в другом. В том, что в соответствии с законом, установленным Карно, из каждых трех калорий, полученных при сгорании топлива (или ядерного «горючего»), в дело идет только одна: две остальные безвозвратно теряются.

Факт этот ненов, известен давно. Однако прежде, когда энергетика земля и была еще не столь могуча, когда о проблемах экологии никто не подозревал, а топлива было вдоволь, с этим мирились как с неизбежным злом.

Но теперь при наступившем энергетическом похолодании, когда экономить стало дешевле, чем строить новые электростанции, вряд ли человечество будет долго терпеть подобное положение вещей.

Вот и напрашивается гипотеза: не «вымрут» ли скоро гиганты теплоэнергетики, как некогда вымерли динозавры? Слишком уж прямолинейно, негибко происходит их приспособление к быстро изменяющемуся энергетическому климату!

Динозавры исчезли 70 миллионов лет назад. Сначала погибли растительноядные формы (пищи стало мало для столь крупных тел), а потом и динозавры-хищники.

Воображение рисует пустынный берег моря. Вечер. Закат солнца. К прибрежным скалам вышел и застыл уродливый неуклюжий великан.

Длинные черные тени побежали по земле. Тревожно-красными стали камни на берегу лагуны. Красные лучи отразились в глазах великана. Ожили, задвигались огромные, как ветви мертвого дерева, лапы. Резкий тоскливый клекот одиноко полетел над водой и смолк в тишине прозрачного вечера.

Никто не откликнулся, никто не пришел. Только маленькие проворные зверьки вылезли из-под камня и забегали в поисках добычи. Им не было дела до одинокого ящера, который каждый день приходил сюда на закате и безнадежно ждал ответа на свой призыв. Они привыкли к нему, как привыкли к шершавым камням и запаху водорослей.

Великан тоже не замечал малышей. Где ему было догадаться, что его время уже прошло и что у ног его бегают прапрадедушки слонов, носорогов и китов, которые со временем на долгие тысячи лет станут хозяевами Земли?...

Динозавры энергетики. Кто придет им на смену?
И есть ли она? Тепловоз и электровозы заменили паровоз, а кто заменит ТЭС? Есть ли более соответствующие новому энергетическому климату устройства, сжигающие топливо более эффективно? Да, есть! Вот один из достойных претендентов. Имя ему — топливный элемент. Эти устройства умеют преобразовывать химическую энергию органического топлива непосредственно в электрический ток. Они неподвластны ограничению Карно. Их КПД может приближаться к 100 процентам.

Заслоненные могучими телами ТЭС и ГРЭС, их величием и авторитетом, они пока мало кому известны, еще не пользуются должным почетом.

Но это, несомненно, явление временное: скоро придет и их черед. Тем более что созданы эти устройства не вчера и уже успели пройти долгий путь совершенствования. Они вполне могут стать конкурентами энергетики традиционной.

ГЛАВА 5

«ХОЛОДНОЕ» ГОРЕНИЕ

Бесконечные явления, которые представляются нам в настоящее время новыми, были предметом размышлений и опытов прежних исследователей, и, с другой стороны, в старой литературе заключены бесконечные наблюдения и мысли, которые могут воскреснуть к новой жизни...

В. Оствальд (1896 г.)

Однажды Фарадей читал лекцию об электромагнитной индукции. Когда он кончил, присутствующий на лекции будущий премьер-министр Англии Гладстон спросил ученого:

— Скажите, сэр, какую практическую пользу может принести ваше открытие?

— Этого я и сам еще не знаю, — ответил Фарадей. — Но не сомневаюсь, что еще при моей жизни вы обложите его налогом...

Увы! Не всякое значительное научное открытие оказывается таким везучим: на явлении электромагнитной индукции покоится теперь вся электротехника и многое иное, что прочно вошло в бытие современного человека.

В этом смысле топливный элемент (а именно о нем сейчас пойдет рассказ) можно смело сравнить с миной замедленного действия. «Взрыв» состоялся лишь спустя полтора столетия после открытия. Только тогда (в наши дни) достоинства топливного элемента заговорили о себе в полный голос.

Что «горит» в топливном элементе

Гров (1811—1896), английский электрохимик, адвокат по профессии (закончил Оксфорд в 1835 г.), слабый здоровьем, он не желал заниматься адвокатской практикой: предпочел тишину кабинета и занятия джентльмена-экспериментатора. Изобретенный им в 1839 году «элемент Грова» сделал его членом Лондонского королевского общества. Гров был ярым сторонником закона сохранения энергии (видимо, поэтому в справочниках он всюду значится как английский физик), профессорствовал в лондонском институте. В зрелые годы здоровье Грова окрепло настолько, что он вернулся к адвокатской деятельности. В 1871 году был назначен судьей, а год спустя возведен в рыцарское достоинство (knight, род личного дворянства с титулом «сэр»).

Сейчас, когда наука требует долгого обучения, дорогостоящего оборудования, коллективных усилий и многого иного, нам трудно себе это представить: профессиональный юрист, успешно (в часы досуга!) подвизавшийся на ученом поприще. И даже внесший значительный вклад в исследования.

Да, днем заседания в суде, дела клиентов. А по вечерам, сбросив судейскую мантию, Уильям Роберт Гров отдавал свой досуг любимой науке — электрохимии.

И занятия эти шли столь успешно, что сейчас, собственно, помнят не юриста Грова, а Грова-электрохимика.

В 1839 году в январском номере «Философского журнала» Гров описал опыт: стрелка гальванометра отклонялась, когда его соединяли с двумя платиновыми полосками, полупогруженными в сосуд с разбавленной серной кислотой; одна полоска обдувалась водородом, другая — кислородом. Так был создан первый топливный элемент — водородно-кислородный.

Открытие было сделано, по-видимому, случайно. Ведь первоначальной целью Грова было произвести разложение воды (точнее, раствора серной кислоты) на водород и кислород.

Тот факт, что процесс может идти и в обратную сторону и что при этом образуется электрический ток, то было для Грова явлением побочным. И сообщение об этом было помещено в постскриптуме к статье, как бы между прочим. Не сразу ученый и его современники осознали, что з науке произошло событие значительное.

Электрохимические элементы (батареи), генерирующие ток, были известны и до этого. Но в них «сжигались» довольно дорогие металлы: цинк, свинец, никель. Насколько дешевле было бы электрохимически жечь водород, лучше натуральный газ, еще лучше уголь. Так же, как издревле привык человек жечь хворост и дрова.

А ведь именно эту возможность, казалось бы, и предоставлял элемент, предложенный Гровом. В нем топливо (водород) сжигалось (соединялось с кислородом) до конечного продукта — воды. И — что самое удивительное — человек впервые получил при сжигании обычного топлива не тепло, а сразу электрический ток. Однако опыты Грова не произвели тогда на ученых большого впечатления: слишком ничтожны были снимаемые с элемента токи. Элемент выглядел лабораторным курьезом, не более. Любопытно, занимательно, но практического применения не имеет!

А теперь о том, что, собственно, и как горит в топливном элементе.

...Яростное пламя клокочет в топке гигантского — высотой с десятиэтажный дом — парового котла электростанции. А что такое пламя? В чем физическая сущность процесса горения?

Топливо (дрова в костре, разведенном туристами, уголь, газ, нефть) состоит в основном из углерода. При горении его атомы теряют электроны. Атомы кислорода (окислитель, необходимая компонента процесса горения), наоборот, приобретают их. Так в процессе окисления атомы углерода и кислорода соединяются в продукты горения — молекулы углекислого газа.

Все эти процессы, изложенные очень упрощенно, идут весьма энергично: атомы и молекулы веществ, участвующих в горении, приобретают большие скорости, а это означает сильное повышение их температуры. Они начинают испускать свет, а это и есть пламя.

Обмен электронов при горении происходит хаотически, неупорядоченно. Вся химическая энергия системы переходит в неполноценную (в смысле эффективности дальнейших преобразований) тепловую энергию. Все это очень похоже на явление «короткого замыкания», когда электрическая энергия преобразуется в тепловую. Провод при этом плавится.

Горение — обмен электронов между атомами. А ведь электрический ток — тоже движение электронов, только упорядоченное! И вот возникает еретическая мысль: а нельзя ли так организовать горение, чтобы сразу получать электрический ток? Добиться управления движением электронов. Не дозволять электрически заряженным ионам в хаосе столкновений растрачивать свою электрическую энергию, не дать ей превращаться в тепло. Итак, возможно ли «холодное» горение? Организованное и упорядоченное? Оказывается, да

Вспомним опыт Грова. Он сжигал водород (топливо вовсе не обязано быть только углеродом, как и окислитель — кислородом) в кислороде: Этот процесс известен нам еще со школьной скамьи. Смесь двух объемов водорода и одного объема кислорода называется гремучим газом. При поджигании огнем или искрой эта смесь взрывается.

Пока это обычное горение водорода. Продуктом является вода. Химик запишет эту реакцию так:

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O + \text{тепло}. \qquad (1)$$

Две молекулы водорода, соединившись с молекулой кислорода, образовали две молекулы воды. Перед нами пример химической реакции, которая сопровождается выделением тепла. (Химическая энергия превращается в тепловую, и ее можно при желании преобразовать в ток, правда, с существенными потерями.)

Но можно ли повернуть дело так, чтобы в ходе реакции генерировалось электричество — электроны (их будем обозначать символом e^-)? Можно ли, скажем, обеспечить протекание такого процесса:

$$2H_2 + 4OH^- \rightarrow 4H_2O + 4e^-. \qquad (2)$$

Да, отвечает наука. Для этого надо свести вместе три фазы: газ водород, источник ионов OH^- — электролит (раствор щелочи в воде) и кусок металла, который и примет образующиеся в реакции (2) электроны. (Процесс (2) и ему подобные, идущие в месте стыка трех фаз, на так называемой «трехфазной границе», изучает особая наука — электрохимия.)

Так получать электроны громоздко, неуклюже? Возможно. Однако, чтобы получить желаемое — электрический ток, схему приходится усложнить еще больше. Ведь чтобы реакция (2) шла долго, к границе раздела металл (в электрохимии его называют «электродом») — электролит — газ необходимо непрерывно подводить ионы и отводить электроны. Значит, требуется и второй электрод. Нужна замкнутая цепь.

Будем ко второму электроду (специально подобранному) подавать кислород или воздух, чтобы там шла реакция

$$4e^- + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4OH^-. \qquad (3)$$

Очевидно, что в сумме реакции (2) и (3) — это можно легко проверить! — дают реакцию (1). И вроде бы мы вернулись к простому горению. Однако в устройстве, которое осуществил впервые Гров — в водородно-кислородном топливном элементе (именно в нем идут процессы (2) и (3), — энергия химической реакции преобразуется уже не в тепло, которое трудно использовать, а непосредственно в энергию бегущих по проволоке электронов.

Включенная во внешнюю цепь «газового элемента Грова» лампа горит! Горение в ней поддерживают электроны, выделяющиеся на одном электроде («водородном», реакция (2): сюда подается водород) и поглощаемые на другом («кислородном», реакция (3).

Но электрохимическое горение замечательно не только тем, что может идти даже при комнатных температурах («холодное» горение). Главное его достоинство, столь важное для технических приложений, в другом: это горение очень эффективно, идет практически без потерь.

Экономная энергетика живого

Замечательный советский электрохимик академик А. Фрумкин, создавший Институт электрохимии Академии наук СССР в Москве, где проблема топливного элемента одна из

ведущих, как-то беседовал с журналистами. Обсуждая недостатки традиционной тепловой энергетики, он нарисовал яркий образ:

— Представьте себе мучимого жаждой человека. Он добрался наконец до воды, зачерпнул полный стакан, но... к губам ему удается донести лишь треть!.. А ведь именно в таком положении находится человечество: из наполненного до краев кубка энергии ему удается полезно использовать лишь малую часть. Две трети добытой из-под земли тяжким трудом людей химической энергии топлива пропадает зря...

Не то «холодное» горение, оно выгодно отличается от обычного: лишено ограничений, установленных Карно, здесь КПД может даже превысить 100 процентов!

Секрет прост: энергия черпается из окружающей среды и добавляется к химической энергии сжигаемого топлива. Но это экзотика. Правило же таково, что при «холодном» горении удается почти всю химическую энергию непосредственно превратить в очень удобную для использования энергию электричества. И доказал то впервые немецкий ученый Нернст.

В 1893 году Нернст вывел теоретическую формулу (она носит его имя), определяющую величину электродвижущей силы электрохимического элемента. Внешне она кажется простой, так же, как и формула Карно. Однако простота эта обманчива.

Мы не будем ни приводить, ни обсуждать формулу Нернста. Нам важно другое: те выводы, которые ученый из нее сделал. В том же 1893 году Нернст рассчитал величину электродвижущей силы гальванического элемента и то количество электрической энергии, которое получается при электрохимическом соединении угля с кислородом. Результат был ошеломляющим. Нернст показал, что если бы удалось превратить химическую энергию угля в электричество электрохимическим путем (читай, в топливных элементах!), то максимальный теоретический КПД такого процесса составил бы 99,75 процента!

Почти сто процентов! Вот оно, первое из многих достоинств топливных элементов. В них в отличие от паровой и прочих тепловых машин энергия практически не теряется.

Любопытно, что очень схоже решила энергетическую проблему и живая природа. Здесь также, минуя малоэффективную тепловую стадию с очень высоким КПД и в поразительно мягких условиях (комнатные температуры, нормальные давления, водная среда), химическая энергия может быть преобразована в механическую энергию (мышцы, сердце, жгутики бактерий), осмотическую работу (секреция желез, всасывание в кишечнике), электричество (нервные клетки, электрические органы некоторых рыб), свет (светляки) и так далее.

Но самое удивительное то, что все эти превращения содержат в качестве обязательного звена «холодное» горение водорода с кислородом. Биохимики установили' биологический водородно-кислородный топливный элемент как бы «вмонтирован», «впечатан» в каждую живую клетку. Не вдаваясь в биохимические тонкости, укажем лишь, откуда в организме человека берется водородное топливо (окислитель же — кислород из воздуха, — попадая через трахеи и легкие, всасывается в кровь, соединяется с гемоглобином и так разносится по всем тканям).

Источником водорода служит пища — жиры, углеводы, белки. В желудке, кишечнике, клетках она в конечном итоге дробится до элементарных кирпичиков — так называемых жирных кислот, которые, в свою очередь, распадаются в клетке до воды, углекислого газа и атомарного водорода.

Этот-то водород, соединяясь с кислородом в процессе «холодного» горения, и составляет основу биоэнергетики организма. А образующийся в этой реакции электрон запускает все идущие в живом организме процессы.

Предвидение Оствальда

Большую роль в судьбе топливных элементов сыграл немецкий ученый Вильгельм Оствальд.

Сейчас Оствальдом интересуются в основном лишь историки науки, а ведь когда-то он был притчей во языцех, главой громадной, созданной им самим школы физикохимиков.

Оствальд сразу же раскусил, какие большие возможности для энергетики сулят топливные элементы. Одно дело, когда о неоспоримых достоинствах топливных элементов в своем учебнике «Теоретическая химия» написал молодой, еще мало кому известный Нернст, и совсем другое, если рекламированием топливных элементов занялся Вильгельм Фридрих Оствальд, всемирно известный ученый, организатор и первый президент только что созданного в Касселе Немецкого электрохимического общества.

В 1894 году на одном из первых собраний этого общества Оствальд произносит речь во славу топливных элементов. Она была затем опубликована в первом номере тоже только что основанного «Электрохимического журнала». Оствальд писал: «Я не знаю, достаточно ли ясно представляют себе, сколь несовершенен для нашего времени высоко развитой техники важнейший источник энергии, которым мы сейчас пользуемся, — паровая машина...»

Да, в то время еще господствовали пар и уголь (не нефть!), и на тепловых электростанциях КПД преобразования энергии достигал только 10 процентов.

В. Оствальд продолжал: «...Путь, которым можно решить самый важный из всех технических вопросов — вопрос получения дешевой энергии, должен быть теперь найден электрохимией. Если мы будем иметь элемент, производящий электроэнергию

непосредственно из угля и кислорода воздуха в количестве, более или менее соответствующем теоретическому, то это будет техническим переворотом, превосходящим по своему значению изобретение паровой машины... Как будет устроен такой гальванический элемент, в настоящее время можно только предполагать... В таком элементе происходили бы те же самые химические процессы, что и в обычной печи: с одной стороны засыпался бы уголь, с другой — подавался кислород, а удалялся бы продукт их взаимодействия — углекислота... Однако здесь не место обсуждать возможные технические подробности, которые могли бы привести к цели, так как, прежде чем серьезно возьмутся за выполнение этой задачи, пройдет еще некоторое время. Но с тем, что здесь не идет речь о лишенной практического смысла идее ученого, я думаю, можно наверняка согласиться. Ведь практически мы имеем дело со случаем, где подобно какой-либо механической задаче можно предсказать полный успех, и техника должна только в наиболее дешевой и лучшей форме разрешить эту проблему...»

Так, почти столетие назад, Оствальд предсказал топливным элементам великое будущее.

С момента, когда Оствальд произнес свою знаменитую речь, прошло 86 лет (1980 год!). За это время преимущества топливных элементов стали еще более очевидны. Способность работать при комнатных температурах (не тысячи градусов, как, например, в МГД-генераторах, где любой материал быстро выходит из строя), отсутствие вредных выбросов (в водородно-кислородном топливном элементе в процессе работы выделяется лишь чистейшая водица) и многое другое.

Отчего же до сих пор топливные элементы все еще не введены в широкий обиход? Причин было много.

Многие изобретатели (и до пророчества Оствальда и после него), пытаясь создать приемлемый для практического применения вариант топливного элемента, отдали этому делу многие годы своей жизни. Среди них был и наш выдающийся соотечественник П. Яблочков.

И успехи были: КПД этих устройств действительно приближался к 100 процентам.

В 1897 году Жако разработал электрическую батарею мощностью в 1,5 киловатта, которую поспешили объявить решением проблемы топливного элемента.

Устройство было таким: железный и угольный стерженьки (электроды) погружали в электролит — расплавленную (температуры 400—500 градусов Цельсия) едкую щелочь (NaOH).

Характеристики элемента Жако были прекрасны: КПД — 82 процента, плотность тока — 100 миллиампер с каждого квадратного сантиметра электродов. Этого было достаточно, чтобы демонстрировать техническую реализуемость и экономичность топливного элемента.

Работа Жако наделала много шума. Изобретатель строит установку, в ней последовательно включенные топливные элементы приводили в действие мотор.

В том же 1897 году Жако публикует в журнале «Harper's Magazine» сенсационную статью о своих работах. Там он детально описывает проект океанского лайнера, бороздящего волны Атлантики и несущего в своем чреве-трюмах движущую его электростанцию из топливных элементов. Автор скрупулезно высчитывает выгоды такого предприятия. Насколько меньше угля потребовалось бы взять на борт такого корабля, если бы простое горение топлива заменило горение электрохимическое... Увы, этим проектам не суждено было осуществиться. Установка Жако проработала с перерывами лишь около полугода.

Поначалу столь успешный опыт был заранее обречен на неудачу: при таких высоких температурах происходило быстрое окисление угольного стерженька, получающаяся при этом углекислота карбонизировала электролит (щелочь NaOH превращалась в соль Na_2CO_3), делала электролит непригодным для нормального функционирования элемента.

И все же изобретатели не сдавались. В то время у топливного элемента, казалось, были реальные шансы занять свое почетное место в энергетике. Ведь в отличие от паровой машины они могли непосредственно генерировать электрический ток.

Пессимизм Баура

Вопрос стоял остро. Шла конкурентная борьба между различными способами получения столь желанного электричества. Источником энергии (тут мнения тогда не расходились) должен был быть дешевый уголь. Но извлекать из него химическую энергию можно было различными приемами.

Первый путь — о нем мы уже много говорили — это топливные элементы. Но был и второй путь, в отличие от первого окольный, многоступенчатый (он успешно практикуется и до сего дня). Это путь прямого сжигания топлива, то, что сейчас называется тепловой станцией.

Тепловые станции возникли не за один день. Это длинная цепочка процессов: сожгли уголь — нагретый пар приводит в действие лопасти паровой турбины (или толкает поршень паровой машины), а уж ее механическая энергия, в свою очередь, побуждает к работе электрический генератор. Вот этой-то последней стадии лет этак сто назад не было и в помине. И здесь-то для топливных элементов и был тот самый шанс, о котором мы упоминали выше.

Но времена менялись. Еще в 1830-х годах Фарадей показал, как можно продуцировать электричество при помощи механического движения проводника, пересекающего силовые линии магнитного поля. В таком «электрическом генераторе», или «динамо», кинетическая

энергия движения превращалась в электрическую. И это могло стать хорошим дополнением к паровой машине. Дело стало за достаточно мощным магнитом, ибо чем интенсивнее силовые линии магнитного поля, тем больше возникающий в проводнике ток.
И эта техническая задача была вскоре решена.

В 1831 году Генри создал крошку электромагнит, который тем не менее мог поднять целую тонну железа!

Дальнейшие события не заставили себя долго ждать. В 1872 году немецкий электротехник Ф. фон Хефнер-Альтенек (1845—1904), ведущий конструктор и главный инженер фирмы «Сименс и Гальске», сконструировал первый эффективно действующий генератор постоянного тока. То был для сторонников, поборников электрохимического способа получения энергии Си для топливных элементов, делающих лишь первые робкие шаги) сокрушительный удар. Вскоре за ним последовал другой, не менее внушительный

Второй нокдаун топливному элементу нанесли двигатели внутреннего сгорания. Интересно поразмыслить над тем, как выглядела бы сегодня энергетика, если бы на рубеже XX века двигатели внутреннего сгорания развивались, бы не столь стремительно, как это было в действительности. Возможно, уже давно бы по дорогам планеты бегали бесшумные, экономичные, не загрязняющие атмосферу электромобили, получающие энергию от топливных элементов...

Динамомашина торжествовала. Новый способ обладал неоспоримым преимуществом: он позволил в широких масштабах начать быстрое внедрение электроэнергии в промышленность и быт. Усилия ученых и инженеров были всецело направлены на развитие этого метода. Топливными же элементами продолжали заниматься только «чудаки». Для электрохимиков эти устройства вообще превратились в нечто вроде «пугала» — столько усилий и такие скромные плоды. Но так, исподволь, трудами многих поколений скромных подвижников идеи топливного элемента, ее рядовых солдат, незаметно, по капелькам, по кирпичику закладывался фундамент последующих успехов.

Типична фигура швейцарского исследователя Э. Баура, отдавшего проблеме топливного элемента 40 лет своей жизни. Баур понимал стоявшие перед ним трудности. Он писал: «Как свинцовый, так и железо- (или кадмиево-) никелевый аккумулятор потребовали долгих лет для своего оформления. Поэтому нельзя ожидать, что для создания топливных элементов потребуются незначительные усилия...»

И все же (слаб человек!) к концу своей жизни Баур приходит к пессимистическим выводам. Отдав делу 40 лет труда, он заявляет публично: использовать топливные элементы невозможно. Его горькие слова — естественное следствие объективных трудностей, мешавших осуществлению мечты о топливных элементах. Поразительно другое: тут есть и некоторая вина самого Оствальда, человека, так много сделавшего для научного рекламирования проблемы. Он ведь ратовал за топливный элемент, в котором бы происходило сжигание угля! Вдохновленные его призывом, исследователипрежде всего обратились именно к этой проблеме. Однако электрохимическое горение угля (теперь это отчетливо видно) и оказалось самым крепким орешком. Задача не решена до сих пор. Трудности таковы.

Как это ни удивительно на первый взгляд, но согласно законам термодинамики печь должна гореть тем лучше, чем она холоднее. Ибо, утверждают химики, равно весие реакции $C + O_2 = CO_2$ — сжигание углерода в кислороде — при этом сдвигается в правую сторону. Однако простой опыт — количество угля при хранении на складах явно не убывает — убеждает: при низких температурах все идет муравьиным шагом. Так и получается, что термодинамика говорит «да», а кинетика этого процесса отвечает «нет». И побеждает второе: уголь горит хорошо лишь при температурах примерно 1000 градусов (по Цельсию). Баур (и другие имярек) по рецепту Оствальда и делали ставку на уголь и высокие температуры. Но здесь их ждали неприятные сюрпризы. Высокие температуры вызывали сильную коррозию электродов и других деталей топливных элементов — элементы оказывались недолговечными. Кроме того, на искусственное поддержание таких температур тратилась львиная доля электроэнергии, снимаемой с топливного элемента. Овчинка не стоила выделки! Так и получилось, что многие исследователи и изобретатели «сломали себе шею», доверившись рекомендациям Оствальда. Но не только в этом было дело. Сейчас, оглядываясь назад, видно, что Нернст и Оствальд слишком далеко опередили свое время. Тогда не было еще ни теоретических, ни экспериментальных, ни технологических средств решения этой большой задачи. Недоставало многого — детальных знаний по катализу (они сейчас есть благодаря развитию химической промышленности), современных материалов (металлов, пластмасс), не было знания квантовой теории (ее разработка была начата Планком двумя десятилетиями позже выступления Оствальда) и так далее. Какими бы гениальными ни были изобретатели времен Оствальда, они не могли справиться с проблемой, стоящей на стыке нескольких областей знания, задачей, требующей организации совместной работы ученых разных специальностей — электрохимиков, физиков, математиков, специалистов по электронике, пластмассам, химической технологии, электротехники. Всему этому — новому стилю работы — научились позже: при работе над атомными и космическими проектами. Как бы предчувствуя все трудности, Оствальд недаром назвал проблему топливного элемента «философским камнем электрохимии».

Замкнутый круг

Но время работало на топливные элементы. Прошли 30-е годы нашего века. Техника требовала все новых и новых типов автономных электрохимических источников тока. Поэтому накануне второй мировой войны исследователи вновь обратились к простейшему топливному элементу — водородно-кислородному.

Весомую лепту в разработку и создание таких топливных элементов внесли и советские исследователи.

...Я держу в руках старый журнал «Советская наука». Март 1941 года. Этот журнал (так же, видимо, как и государственное издательство «Советская наука»), созданный в 1941-м, просуществовал лишь четыре месяца — началась война.

В мартовском номере было опубликовано постановление Совета Народных Комиссаров Союза ССР о Государственных премиях. В разделе «За выдающиеся изобретения» премии третьей степени (25 тысяч рублей) был среди прочих удостоен и П. Спиридонов, научный сотрудник физико-химического института имени Л. Я. Карпова. Награжден за изобретение нового типа элемента воздушной деполяризации — так говорилось в постановлении. Фактически же тут речь шла все о том же топливном элементе...

В СССР этими работами начали заниматься совсем недавно. Но успехи уже были, и немалые. В институте имени Карпова в лаборатории академика А. Фрумкина работала группа «Новых источников тока». Руководил ею инженер П. Спиридонов.

Было бы слишком сложно излагать суть работ П. Спиридонова. Важно другое. Его работы уже показывали реальную возможность практического использования топливных элементов (во всяком случае, водород-нокислородного варианта). Элементы Спиридонова, созданные в 1939—1941 годах, имели значительную плотность тока — 30 миллиампер с квадратного сантиметра поверхности электродов. Эти значения были для того времени довольно высокими (сейчас удается получать токи в десятки-сотни раз больше) и в противовес пессимистическим взглядам Баура показывали перспективность дальнейших изысканий в этом направлении.

Но вновь слепые, стихийные силы вмешались в судьбу топливного элемента. Началась война. Исследования (с таким блестящим стартом) были свернуты.

Примерно в те же годы, перед войной (хотя и в несколько ином плане), подобными работами в СССР успешно занимался еще один наш соотечественник — О. Давтян. В энергетическом институте исследования велись под руководством академика Г. Кржижановского.

Один из недостатков созданного Гровом водородно-кислородного топливного элемента состоит в том, что он работает на чистом водороде, который слишком дорог. (Дорог и кислород: предпочтительнее элемент, работающий на воздухе.) Заманчивее было бы использовать дешевые газообразные топлива, в первую очередь генераторный газ (газ, получаемый путем газификации твердого топлива). Такую установку для электрохимического сжигания горючего газа и построил О. Давтян.

Уже после войны, в 1947 году, эти работы были со браны О. Давтяном и опубликованы в первой, посвя щенной топливному элементу, монографии, она называлась «Проблема непосредственного превращения химической энергии топлива в электрическую». Книга вызвала за рубежом большой интерес. Так, трудами советских ученых началась новая эра в развитии топливных элементов.

Вера движет горами, как известно. В злоключениях топливного элемента бывало всякое — насмешки критиков (крохотные токи), рекламные моменты, истовость изобретательского пыла и многое другое. Не было, кажется, только несокрушимой, все отметающей, все преодолевающей веры, веры в успех этого научно-изобретательского мероприятия. Пришло и это. В лице английского инженера Фрэнсиса Томаса Бэкона (родился в 1905 г.), создателя первого, уже реально работающего образца топливного элемента. «Мне хочется еще раз подчеркнуть, — сказал он недавно, — что не логические рассуждения, а убежденность в правоте идеи топливного элемента руководила мной все эти годы...»

В 1959 году Бэкон сконструировал и построил целую батарею из 40 топливных элементов общей мощностью в 6 киловатт (КПД 80 процентов).

Итак, (через 120 лет после открытия Грова) был создан работающий топливный элемент. Батарея Бэкона могла приводить в действие электрокар, циркульную пилу и сварочный аппарат.

Почти одновременно, в октябре 1959 года, в США представителям печати и общественности был продемонстрирован двадцатисильный электротрактор на топливных элементах (американцы давно уже закупили патент Бэкона), спроектированный и построенный фирмой «Аллис-Чалмерс».

Все говорило за то, что топливные элементы вышли из стадии лабораторных исследований. Но где и как их использовать? и можно ли? и стоит ли?

Транспорт? Да, батареи Бэкона было достаточно, чтобы привести в движение небольшой

автомобиль. По своим размерам батарея была примерно такой же, как и автомобильный двигатель (76x38x30 см).

Однако общий вес установки, вместе с баллонами газа и вспомогательным оборудованием (автоматика, удаление воды — продукта реакции, поддержание стабильной температуры), необходимым для управления работой батареи, составлял около 300 килограммов, для ее размещения потребовался бы грузовик. Таким образом, общее соотношение мощности к весу у детища Бэкона оказалось все же слишком низким, чтобы его можно было, скажем, использовать на транспорте.

Может быть, энергетика? На стационарные генераторы, предназначенные для электрических станций, не налагается жестких (земля все выдержит!) требований в отношении веса и компактности. Но поскольку они должны вырабатывать много энергии, в них должно использоваться доступное, дешевое (например, горючие газы) топливо. А батарея Бэкона эффективно работала только на водороде, степень чистоты которого равнялась 99,5 процента! А столь чистый водород и стоит крайне дорого, и производство его ограничено (тогда еще о водородной энергетике и слыхом не слыхали).

Металлы-катализаторы, используемые в элементе Бэкона, были крайне чувствительны к малейшим загрязнениям как топлива (водород), так и окислителя (кислород). Примеси выводили их из строя. А ведь в идеале (вспомним Оствальда) грезилось, что топливные элементы будут способны работать на кислороде воздуха (без разделения газов) и на неочищенных углеродистых газах (скажем, на пропане — газообразном углеводороде, который можно получить, например, при переработке углей). Лучшим катализатором здесь, видно, была бы платина (мы помним, что еще электроды элемента Грова были собраны из чистой платины). Но затраты большого количества (массовое производство!) дорогостоящей, дефицитной платины низвели бы топливный элемент опять на уровень лабораторной игрушки.

Вот и получился замкнутый круг. И выхода, казалось бы, не было никакого. Практическое использование топливного элемента вновь откладывалось на неопределенный срок.

С Земли на Луну

Оставив за собой гигантский огненный хвост, космический корабль устремился ввысь... Вот отделяется ракета-носитель... и космонавты берут курс на цель (Марс? Венеру?)...

Представим теперь себе, читатель, что мы находимся в кабине космического корабля. Первое бы, что нам бросилось в глаза, — это, видимо, мягко светящийся главный пульт управления: светло-серая приборная доска, полумесяцем огибающая всю кабину. Со множеством различных переключателей, датчиков, счетчиков, циферблатов, шкал, индикаторов и других приборов... Даже стены космической каюты усеяны сотнями разных переключателей и кнопок.

Сложное хозяйство у космонавтов! Необходимо собирать и передавать на Землю разнообразные данные. Должны быть на борту также устройства, поддерживающие в кабине тепло и уют (хотя снаружи температура может колебаться от плюс 120 до минус 150 градусов Цельсия). И все это множество приборов — питание радиоприемного и радиопередающего оборудования, приборы для научных исследований и контроля параметров самого корабля, бортовая ЭВМ и так далее — требует электроэнергии.

Где ее взять? Какой тип бортового источника энергии выбрать? Непростые вопросы! Элементарные оценки показывают: чем длительнее полет, тем (если ориентироваться, скажем, на обыкновенное химическое топливо) больший запас «горючего» должны брать с собою космонавты. Для полета к Марсу бортовые источники электрического питания (БИЭП) потребовали бы 200 тонн ракетного топлива!

Когда 4 октября 1957 года был запущен первый советский спутник, более 38 процентов его общего веса составили химические источники тока. И все же этих запасов хватило только на три недели.

Для маленьких спутников, весящих сотни граммов, требовались ватты энергии. Космические же корабли — «Восход» и «Аполлон» — с человеком на борту нуждаются в гораздо большем: в десятках киловатт, а обитаемые космические станции будут (и уже!) требовать сотни и тысячи киловатт энергии. Где ее черпать?

И вот получилось так, что всех других конкурентов обошел и стал своеобразным чемпионом топливный элемент! Жалкая пария на земле, он расцвел в космосе. Там его достоинства засверкали яркими красками.

Когда в США встал вопрос о выборе энергоустановки для космических кораблей «Джемини» — они должны были крутиться вокруг Земли в течение двух недель — все решили сравнительно простые оценки. Космический полет требовал двухсот киловатт-часов электроэнергии. Чтобы ее обеспечить, самая совершенная батарея аккумуляторов — серебряно-цинковых — должна была весить 1,5 тонны. Батарея солнечных элементов — 335 килограммов, а вот энергоустановка из водородно-кисло-родных топливных элементов имела расчетный вес лишь 225 килограммов. Эти цифры (в космосе каждый килограмм на учете) и

склонили чашу весов в пользу топливных элементов.

Конечно, топливные элементы имели в космосе и другие преимущества: играл роль не только их малый вес. В отличие от солнечных батарей они вырабатывают электроэнергию в любое время суток, независимо от освещенности. Топливные элементы компактны, могут иметь любую геометрическую конфигурацию в соответствии с требованиями космического аппарата. Они нечувствительны к ударам, вибрации, радиации, вакууму, невесомости, выдерживают кратковременные перегрузки до 100 процентов номинальной мощности, не имеют вредных выбросов (вселенная космической кабины очень мала: ее нельзя загрязнять!), бесшумны, не дают радиопомех и излучений, действуют при температурах, близких к комнатной...

Вот так и получилось, что первое практическое применение топливные элементы нашли не на Земле, а в космосе!

Наконец-то для топливных элементов наступили славные денечки. В 1963—1964 годах только в США (а исследования велись во всех развитых странах мира) на топливные элементы ежегодно шли десятки миллионов долларов. Все былые преграды: дороговизна платины, чистота водорода и кислорода... — все, что мешало широкому распространению топливного элемента на Земле, теперь в космосе, когда необходимо было изготовить для дела лишь несколько образцов, стало помехой небольшой: денег не жалели!

Теперь события развивались стремительным темпом: топливные элементы побывали даже на Луне! Причем топливные элементы не только снабжали космические экипажи электроэнергией, но и буквально поили их. И в этом был большой резон.

Ежедневно космонавту нужно от 4 до 14 (в зависимости от длительности полета и гигиенического режима) литров воды. Эту потребность могут обеспечить водородно-кислородные топливные элементы, так как в них при выработке каждого киловатт-часа электроэнергии в качестве побочного продукта выделяется что-то около литра чистейшей, годной для питья воды. Нетрудно подсчитать, что при месячном полете космического экипажа экономия массы корабля за счет запасов воды будет исчисляться тоннами!

...И Армстронг, и Олдрин, и Коллинз пили воду, которая синтезировалась в топливных элементах корабля «Аполлон». Правда, на первых порах американские космонавты испытывали некоторое неудобство. Вода напоминала газировку: только вместо углекислого газа она была насыщена водородом. Это вызывало необычные и малоприятные ощущения.

Причина явления проста. В топливном элементе вода выделяется — испаряется — с той стороны, где происходит подача в элемент топлива — водорода. Естественно, пары воды смешиваются с газообразным водородом. Но в дальнейшем удалось получить воду без растворенного в ней водорода. Для улавливания в питьевой воде пузырьков газа на краны надевались специальные фильтры.

ГЛАВА 6

ЭНЕРГЕТИКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ

Основное занятие ученого состоит в том, чтобы найти, как сделать вещь, а дело инженера — создать ее.
Дж. Б е р н а л

Теперь можно рассказать о том, как уже из космоса топливные элементы спустились на Землю. Про открывающиеся для них тут большие возможности.

В Московском энергетическом

Для СССР топливные элементы давно не новинка. На стендах ВДНХ посетители могут увидеть электрохимические генераторы тока (сокращенно ЭХГ, так еще называют топливные элементы, если их рассматривать вкупе с автоматикой, системами отвода тепла, продуктов реакции и прочими вещами, неизбежными, если речь идет о достаточно мощных источниках энергии) ЭХГ, созданные во Всесоюзном научно-исследовательском институте источников тока (ВНИИТ) под руководством члена-корреспондента Академии наук СССР Н. Лидоренко. Правда, прежде основной упор в этих работах делали на создание автономных источников энергии небольших мощностей. К примеру, созданы во-дородно-воздушные ЭХГ для питания переносного телевизора (мощность 15 ватт, срок службы 2 тысячи часов). Поэтому с таким большим интересом электрохимики страны собирались в сентябре 1979 года на свой очередной форум. Тогда в Москве проходила Всесоюзная научная конференция: ее гема была необычной — электрохимическая энергетика!

Судьба топливных элементов полна парадоксов. Экзотика, можно сказать, вывела топливные элементы «в люди». Необычные обстоятельства вне Земли и глубоко под водой требовали и незаурядных источников питания электроэнергией. И вот там, где спасовали традиционные средства, выручил топливный элемент.

Казалось бы, топливные элементы годятся лишь для особых случаев, для спецтехники, и их удел — малые масштабы производства. Потому-то и был столь удивительным большой научный разговор об электрохимической энергетике, который состоялся в 1979 году в Москве.

Знаменательно, что электрохимики страны собрались в стенах Московского энергетического института (МЭИ), где имеется положительный опыт подготовки специалистов по электрохимической энергетике. Тем самым как бы скрепляя союз электрохимиков и энергетиков.

На конференции в МЭИ было продемонстрировано много примеров того, как ЭХГ постепенно входят в нашу жизнь и быт. Так, эти устройства снабжали электроэнергией действующий в Черном море подводный дом «Черномор» (Академия наук СССР). Но наиболее впечатляет создание советскими учеными и инженерами, сотрудниками ВНИИТ, электромобиля на топливных элементах.

На первый взгляд машина как машина. Сзади вроде бы обычная выхлопная труба, из нее тянет дымок. Однако, оказывается, это не ядовитые выхлопы, а безобидный водяной пар. Второе, что удивляет, — машина не издает никакого звука, не фырчит, не тарахтит, бесшумна, как сова.

Заглянув внутрь машины, невольно ищешь (электромобиль!) традиционную батарею аккумуляторов, а ее нет! Взамен «ящик» размером примерно с две домашние стиральные машины. Это и есть электрохимический генератор на топливных элементах. От него ток поступает к двигателю.

В электромобиле на топливных элементах заливать горючее и окислитель не надо. Баки с горючим заменяет газовый баллон с водородом. А окислитель — обычный атмосферный воздух, очищенный особым образом. Замена баллона с водородом отнимает считанные минуты, тогда как зарядка аккумуляторов потребовала бы нескольких часов. Да на аккумуляторах и не убежишь далеко, максимум (если взять наиболее перспективные никель-цинковые системы) на 130 километров.

В 1980 году электромобили на топливных элементах успешно прошли дорожные испытания. Расчеты показывают, что пока перевозки грузов на автомобилях с ЭХГ будут лишь на 40 процентов дороже, чем на машинах с бензиновым двигателем.

У ЭХГ большие перспективы в железнодорожном деле — например, автономные установки для автоматической сигнализации. Малая и средняя (установки от 1 до 100 киловатт) энергетика успешно развивается в СССР, но большая делает лишь первые шаги. И конференция в МЭИ показала: все необходимые предпосылки для ее создания у нас в стране есть. Имеются несомненные успехи в различных областях — электрокатализе, теории сильных электролитов и других дисциплинах, образующих фундамент для быстрого развития электрохимической энергетики.

Но, спрашивается, так ли уж необходима электрохимическая энергетика, и если да, то в каких областях? И почему?..

Энергетика — большая и малая

У каждой науки есть своя мечта. Такой мечтой, «синей птицей» для электрохимии стала задача создания совершенных топливных элементов. И построенной на них особой электрохимической энергетики.

Мы перегораживаем реки огромными плотинами, строим мощные атомные электростанции. И все же на долю энергии падающей воды или атомного распада в общем балансе приходится всего лишь несколько процентов. Энергетику, связанную со сжиганием природного топлива, естественно назвать «большой энергетикой». Но рядом с ней существует также «малая энергетика». Для питания переносной радиоаппаратуры, различных приборов на самолетах, автомашинах необходимы особые источники тока. Ими стали десятки типов гальванических элементов и аккумуляторов — устройств сугубо электрохимических.

От батареек для карманных фонариков до топливных элементов, действующих на космических кораблях, — таков диапазон применения электрохимических источников тока. Ежегодно во всем мире их выпускают около 10 миллиардов единиц, а суммарная мощность таких элементов и аккумуляторов уже соизмерима с мощностью всех электростанций мира. Вот! Такова так называемая «малая энергетика». В ней, правда, до недавнего времени не было гигантов, установок большой мощности, но, как вскоре увидит читатель, и они, видно, скоро появятся.

Однако в электрохимических источниках тока не все просто. Например, в гальванических элементах, скажем, в батарейке для карманного фонарика, топливом служит такая «экзотика» (с экономической точки зрения), как цинк, магний, свинец. Эти вещества получают после сложной и долгой переработки природных руд, что требует опять же больших затрат электроэнергии. Чтобы получить, скажем, тонну цинка, надо затратить до 3,5 тысячи киловатт-часов электроэнергии Ясно, что никакой КПД не окупит расходов на такое «топливо».

Другой недостаток гальванических элементов — краткий срок их действия. В элемент заложен определенный запас активного материала — топлива и окислителя. Запас израсходован — и элемент выходит из строя, его надо заменять другим. Тепловые же машины работают без перебоев, топливо и окислитель к ним можно подводить непрерывно.

А что, если создать гальванический элемент, действующий по такому же принципу — с непрерывным подводом топлива и окислителя? Тогда новое устройство, обладая очень высоким коэффициентом полезного действия, значительно увеличит и срок службы. Это, собственно, и есть основная идея топливного элемента, преимущества которой еще в начале нашего века разглядели лучшие «электрохимические умы». В частности, В. Оствальд. Но, ярко вспыхнув, новая звезда энергетики быстро угасла. Причин было много, мы рассказывали о них в прошлой главе. Топливные элементы пошли в ход только тогда, когда разработка этих источников энергии стала составной частью космических программ. Нужны были большие средства и мощные научные и инженерные силы. Только на этом пути можно было надеяться на успех в этой трудной проблеме. Но пока топливные элементы были слишком дорогостоящими. И вот энтузиазм 60-х годов сменился в 70-х годах сначала осторожным оптимизмом, а затем и вовсе унынием и пессимизмом.

Да, топливные элементы известны давно. Но прежде, когда органическое топливо было баснословно дешевым, большая эффективность топливных элементов особой роли не играла. Однако то, что было дешево еще в 60-х годах, резко подорожало в 70-е! Энергетический кризис обновил взгляды. И идея топливного элемента вновь стала актуальной, ибо это был реальный путь экономии все дорожающей органики. Так топливные элементы получили «путевку» в большую энергетику.

Рожденный для города

«Приводят все дороги в Город» — так писал в конце прошлого века бельгийский поэт Эмиль Верхарн.

Города — средоточие нашей цивилизации. Ее барометр, пульс. Достижения и просчеты здесь особенно рельефны, обнажены.

Город — это «остров тепла». Средняя температура тут может быть на десять градусов выше, чем вне городской черты. Здесь иной воздух, не так светят солнечные лучи, чаще и обильнее выпадают дожди.

Деревья в городе — о, это целая проблема! Сильное загрязнение воздуха в Токио вынудило муниципальные власти принять программу «скорой помощи» зеленым насаждениям. Так, все деревья старше 15 лет должны быть зарегистрированы специальной службой. Это молодые «старцы», оказывается, уже требуют особого ухода.

Но в городе нелегко жить не только деревьям, но и людям. Полицейские в противогазах на

улицах Токио, зловещие смоги над Лондоном и Лос-Анджелесом — об этом много писали. Как же совместить в городах экологическую чистоту и непрерывный рост энергопотребления? И вновь вспомнили про топливные элементы. Ведь у электрохимических генераторов есть и еще одно важное достоинство — экологическая чистота. Они выбрасывают в атмосферу почти исключительно углекислый газ и воду. Поэтому их можно использовать непосредственно там, где они нужнее всего, — в крупных городах и промышленных центрах.

Да, топливные элементы как бы рождены для города. Они бесшумны (химическая энергия здесь непосредственно преобразуется в электричество, минуя стадию, связанную с механическим движением). Далее, низкотемпературные топливные элементы практически не потребляют воды. Они занимают гораздо меньше места, нежели традиционные ТЭЦ. А в переуплотненных городах проблема территории крайне остра. Так вот: предварительные оценки показывают, что электростанция на топливных элементах мощностью в 20 мегаватт будет занимать участок размером лишь в 15Х25 квадратных метров.

Причины компактности этих энергоустановок станут понятны, если мы представим себе, как они устроены.

При хрестоматийной подаче топливный элемент изображают так. В сосуд с водным раствором электролита (кислоты или щелочи) погружены два металлических, например, из платины, стержня — их называют электродами.

К одному из электродов (аноду) подводят газообразное топливо, скажем, водород, другой электрод (катод) омывается окислителем, обычно кислородом или воздухом (так дешевле). Если теперь электроды замкнуть на внешнюю цепь, в ней пойдет электрический ток.

Примерно в таких тонах расскажет о топливном элементе ученый-электрохимик. Технолог же, обуреваемый желанием сэкономить пространство и материал и жаждущий высоких удельных мощностей, представил бы топливный элемент по-иному.

Это сандвич, сказал бы он, где роль ломтей хлеба играют два пористых (внутренняя поверхность велика, велик и ток) электрода, а кружочка колбасы — пропитанная раствором электролита также пористая матрица (да, хотя б и промокашка, лишь бы тоненькой была!).

Но, добавит технолог, один такой электрохимический «бутерброд» энергией не насытит. Тут уже нужна стопка, этакий «слоеный пирог» из множества топливных элементов.

Толщина отдельного топливного элемента — миллиметры, снимаемая мощность — сотни ватт. Батарея же высотой в несколько метров (из многих сотен отдельных, повторяющихся, однотипных, правильно чередующихся топливных элементов) способна дать сотни киловатт энергии. Мегаватты же, если заводить речь об электрохимической энергетике всерьез, получатся, коль на сравнительно небольшой площадке взгромоздятся сотни таких слоеных электрохимических «колонн». Это и будет (как бы ее назвать?) электрохимической электростанцией (ЭЭС). Одна из многих ячеек электрохимической энергетики (ЭХЭ).

Важное достоинство этих источников энергии еще и в том, что в основе их построения лежит принцип «модульности». Стопка или набор топливных элементов — модуль — может быть любого размера, а стало быть, и мощности. Так сказать, на любой вкус и потребность!

В каждом доме можно поставить свою котельную, но никак не электростанцию! (Так же, как вряд ли в будущем появятся автомобили с атомным реактором.) Это если говорить о традиционных источниках энергии в городе. Не то ЭЭС. Сейчас создаются проекты небольших (от 25 до 200 киловатт) автономных электрохимических генераторов на природном газе (а он есть в каждой кухне!), которые бы обслуживали отдельные микрорайоны или даже большие жилые дома. При этом можно утилизировать еще и тепло, выделяемое топливными элементами. И при тех же затратах топлива не только снабжать дома электричеством, но и отапливать их.

Но можно строить ЭЭС и больших мощностей — от 5 до 25 мегаватт. Однако работа для них в городе будет уже иная. Ритмы города — «прилив», «отлив». Часы «пик» с толчеей в метро и автобусах. Как громадный зверь, город спит ночью (потребляя мало энергии), но утром, проснувшись, он выказывает всю свою силу (требуя всю доступную ему энергию).

Энергетика города вынуждена работать очень неравномерно и, как сейчас увидим, неэкономично. Эффективность использования топлива на ТЭЦ сильно зависит от нагрузки: если при работах на полную мощность такая ТЭЦ на жидком топливе потребляет около 2150 килокалорий на 1 киловатт-час электроэнергии, то при 40-процентной загрузке — уже 2800 килокалорий. А электрохимический генератор независимо от нагрузки будет потреблять 2270—2330 килокалорий на киловатт-час. (Еще одно замечательное свойство топливных элементов — сколько их мы уже перечислили!)

Нетрудно понять, какие можно получить выгоды, если использовать топливные элементы в коммунальном электроснабжении. В первую очередь как вспомогательные генераторы, подключаемые в часы пиковых нагрузок. Подстраиваясь под прихотливые ритмы городов, очень выгодной окажется комбинация из рассчитанной на средние нагрузки обычной ТЭЦ, постоянно работающей в оптимальном режиме, — на полную мощность, и батареи топливных элементов, принимающей на себя увеличение нагрузки в часы «пик».

Мысль о выравнивании нагрузок в больших энергетических системах: аккумулирование энергии при «спадах» и выдача ее в сеть при «подъемах» — мысль старая. Подсчитано, например, что создание таких аккумулирующих станций общей мощностью от 200 до 400

миллионов мегаватт сэкономило бы в год 50 миллионов тонн нефти!

Как это осуществить? Способов было предложено много. Можно сжимать воздух, хранить его в кавернах, например, под землей, а затем использовать механическую энергию движущихся воздушных потоков. Другой путь — гидроаккумулирующие устройства: вода закачивается в поднятый высоко резервуар, сброшенная оттуда, она возвращает энергию.

У нас в стране первый такой гидроаккумулирующий комплекс сооружается под Москвой, неподалеку от Загсрска. В двух километрах от устья небольшой речки Куиьи строится водоем, в котором весной будет собираться до 37 миллионов кубометров воды. А на отметке, находящейся на 100 метров выше, располагается другой бассейн почти такой же емкости. В ночное время насосные агрегаты будут из нижнего водоема перекачивать в верхний 22 миллиона кубометров воды. На это и уйдет излишек электричества.

Водохранилища соединены шестью водоводами диаметром 7,5 метра. Днем откроются их затворы, и мощные водопады устремятся к ГАЭС. В московскую городскую систему она передаст 1,2 миллиона киловатт электроэнергии. Столько же, сколько вырабатывается Саратовской ГЭС. А без ГАЭС излишек энергии пока приходится направлять (и получать) в другие отдаленные районы страны. При этом часть электроэнергии теряется в пути.

Проблему выравнивания энергии можно решать и другими способами, но, как правило, у них у всех один общий недостаток — большая инерционность процессов: ими трудно управлять. А электрохимические генераторы лишены этого недостатка. Только вот «маленькая» загвоздка — для выравнивания ритмов городской энергетики необходимы ЭЭС-гиганты: мощностью в десятки мегаватт. А их пока еще нет.

Да, таких электрохимических исполинов пока нет, но когда их начнут монтировать, это будет необычный процесс. Непривычный. ЭЭС можно, оказывается, собирать на специальных заводах. Так же, как, скажем, автомобили. (Автомобиль вовсе не обязательно собирать на дворе того дома, где он будет парковаться!) Строительство ТЭЦ требует места, и немалого, большого времени, капитальных вложений. Массовое же производство электрохимических «бутербродов», их быстрый монтаж в модули и «колонны» можно осуществить поточно. И доставить быстро в любую точку города. Соответственно и стоимость ЭЭС должна быть ниже.

Важность проблемы энергоснабжения городов быстро возрастает. По данным ООН, к концу века в городах будет жить вдвое больше людей, чем сейчас. В развитых странах на долю городов придется три четверти всего населения, в развивающихся странах — около половины. Причем города достигнут грандиозных, умопомрачительных размеров. В 2000 году список их будет, очевидно, возглавлять Мехико с населением 31 (!) миллион человек. Далее будут следовать Сан-Пауло (25,8 миллиона), Токио (24,2 миллиона), Нью-Йорк (22,8 миллиона), Шанхай (22,7 миллиона). Как следствие такой урбаакселерации резко пойдет вверх и необходимость в ЭЭС, этих легко откликающихся на потребу городов новых источников электроэнергии.

«Тарджет» и другие

Кто-то должен начать! Самая блестящая идея останется фантазией, пока за нее не возьмется инженер. И вот в последние годы за рубежом в различных журналах, связанных с энергетикой, техникой, замелькали непривычные, броские заголовки статей. «Использование топливных элементов для выработки электроэнергии — мечта или реальность?» «Топливные элементы — фаворит в энергетической скачке?»... И тому подобное. В условиях достаточно резко выраженного энергетического кризиса, экологических и прочих неурядиц в ведущих капиталистических странах — США, ФРГ, Японии — начаты серьезные исследования вопроса о возможной роли топливных элементов в Большой Энергетике. Особый размах эта деятельность получила в США.

В 1967 году, когда многие организации, занимающиеся топливными элементами и работающие на космос, начали свертывать свою деятельность и дух уныния воцарился над этой проблемой, американская фирма «Юнайтед технолоджи корпорейшн», объединившись с консорциумом газовых и электрических компаний (электроэнергия из газа), создала проект «Тарджет» («Цель»). Организаторы проекта, что называется, смотрели в корень. Природный газ становится в энергетике самой перспективной фигурой. Использовать его высокоэффективно, экологически чисто — то была достойная задача.

Проект «Тарджет» действует более 20 лет. Исследования велись с постепенным наращиванием мощности установок. В 1972—1973 годах было изготовлено более 60 модулей — 12,5 киловатт каждый. Теперь же взят курс на 40-киловаттные устройства. 50 таких станций пройдут испытания в период с 1979 по 1981 год, чтобы к 1982 году можно было выработать окончательные рекомендации по их практическому использованию. Конечная цель работ — создание предпосылок для использования газа в качестве единственного носителя энергии.

«Тарджет» не единственный проект такого рода. В 1971 году была принята другая программа — «РСО» (первые буквы слов «Fuel Cell Generator» — генераторы на топливных элементах).

Если проект «Тарджет» поддерживали в основном газовые компании, то программу РСО

финансировали компании электрические. И цели тут покрупнее — построить в начале 80-х годов уже 27-мегаваттную (!) установку на топливных элементах.

В 1976—1977 годах была построена и успешно испытана станция мощностью в 1 мегаватт. А в мае 1980 года в густонаселенном районе Нью-Йорка (Нижний Манхаттан, это место выбрано, чтобы показать преимущества использования топливных элементов: бесшумность, бездымность, «безводность») начато испытание электростанции на топливных элементах мощностью в 4,8 мегаватта. Она дает ток в городскую сеть.

Если эксплуатация этой демонстрационной энергоустановки — пока идет очень дорогостоящий и сложный технический эксперимент! — окажется успешной (планируется, что станция проработает 2000 часов: в октябре 1981 года предполагается выпустить заключительный отчет по данному проекту), то в начале 80-х годов, возможно, будет построена электростанция уже на 27 мегаватт.

Согласно предварительным расчетам такая станция сможет обеспечить электроэнергией жилой массив (или город) с населением в 20 тысяч человек. Все оборудование такой ЭЭС может быть размещено в одноэтажном строении, занимающем порядка двух тысяч квадратных метров земли.

Чтобы ощутить размах дела, полезно вспомнить события не столь далекие: историю развития атомной энергетики. Первая в мире АЭС опытно-промышленного назначения мощностью в 5 мегаватт (какое совпадение: ЭЭС в Нью-Йорке рассчитана примерно на ту же мощность!) была пущена в СССР 27 июня 1954 года. А в 1958 году была введена в эксплуатацию 1-я очередь Сибирской АЭС мощностью 100 мегаватт (Мвт) — полная проектная мощность 600 Мвт. Так начиналась эра атомной энергетики. Не стоим ли мы сейчас на *пороге* энергетики электрохимической?

Третье поколение

Широкая река научно-технического прогресса. Ее стремительные повороты, странные и порой необъяснимые. Скажем, М. Фарадей (1791 —1867), так много сделавший для развития электрохимии. (Достаточно вспомнить открытые им законы электролиза.) Но он же в 1831 году открыл и принцип электромагнитной индукции. К чему это привело? К созданию электрических генераторов. К забвению электрохимических устройств, которые до этой поры (до 60-х годов XIX века) являлись основным источником электричества. Но сейчас, кажется, ситуация вновь меняется. Восстанавливается (увы, спустя примерно столетие) исходная позиция.

«Загнанные в резервации», «истребленные» для нужд Большой Энергетики, электрохимические устройства в образе топливных элементов собираются теперь дать бой тепловым машинам на их же собственной территории.

Третья американская долговременная программа «Utility» («Польза») поставила своей целью осуществить заветную мечту электрохимиков — поставить на промышленную основу, «холодное» (на топливных элементах) горение угля в кислороде воздуха. И не в виде лабораторных образчиков, дразнящих воображение, но не выдерживающих практической проверки. Где-то в 1990-х годах должна быть построена электростанция мощностью в 635 мегаватт!

Человек редко живет настоящим. Тело — да, но разум всегда устремлен в будущее. Видно, тому серьезные биологические причины: тысячелетняя борьба за существование, шлифующая наш мыслительный аппарат. Столь жизненная необходимость — умение предвидеть! Каков завтрашний день земной энергетики? Тут нет особых разногласий. Уже проглядываются три этапа.

Ближайший — эра нефтепродуктов и природного газа. Их хватит человечеству еще лет на 20—30. Следующий, второй этап — посленефтяной или угольный. Запасы угля обильны: ими можно «кормиться» 1,5— 2 столетия. Третий этап развития энергетики начнется, когда вся ископаемая органика будет исчерпана. Тогда пойдут в ход на полную мощность солнечные, атомные и термоядерные установки.

А электрохимическая энергетика? Привязана ли она к быстро исчезающей органике? Вовсе нет. Если, как утверждают футурологи, грядет эра водородной энергетики, топливным элементам всегда найдется дело, ибо это лучший инструмент для сжигания водорода.

Электрохимическая энергетика только начинается, но ученые уже размышляют об энергоустановках второго и третьего поколений.

Пока идет работа с топливными элементами первого поколения. С фосфорнокислым электролитом, элементами, функционирующими при температуре около 210 градусов Цельсия.

Отдельные электрохимические ячейки устроены так. Концентрированным водным раствором кислоты пропитывается тонкий слой пористого вещества-носителя. Оно заключено между пористыми же угольными электродами, на которые нанесен тонкий слой катализатора •— платины (0,3—0,8 миллиграмма на квадратный сантиметр внешней поверхности электрода). Мощность такого элемента 0,1—0,2 ватта с квадратного сантиметра площади электродов, напряжение — 0,64 вольта. Вот характеристики отдельного электрохимического «бутерброда».

По предварительным подсчетам, при массовом производстве (не менее 500 мегаватт в год) такие установки — модули, собранные из отдельных топливных элементов, — будут обходиться по 350 долларов за киловатт мощности.

Теперь о КПД. Увы, у первого поколения энергоустановок на топливных элементах он не очень высок: около 40 процентов. Это еще не резкий скачок в сравнении с традиционными устройствами, где при использовании паровой турбины КПД колеблется от 23 до 38 процентов.

Где же обещанные почти 100-процентные значения КПД? — вправе спросить читатель. Так выгодно отличающие топливный элемент от тепловой машины? Для ответа на этот вопрос придется войти в некоторые подробности.

Энергоустановки на основе топливных элементов состоят из трех главных и непременных компонентов: системы подготовки топлива, собственно электрохимического генератора (ЭХГ) и преобразователя тока. (Топливный элемент генерирует постоянный ток, его надо преобразовать в переменный.)

В системе подготовки топлива нефть или природный газ сначала очищают от серы, а затем подают в каталитический паровой риформер. Так образуется смесь газов — водорода (топлива) и углекислого газа: они-то и поступают в анодные камеры топливных элементов.

КПД всей системы, естественно, зависит от КПД каждой из трех ее составляющих. Часть энергии уходит на приготовление водорода, оттого-то общий КПД энергоустановки и оказывается невысоким.

Но и в таком виде эти установки обладают рядом несомненных достоинств. Вредные выбросы (окислы азота и серы) от топливных элементов составляют лишь 0,1 до 0,00002 от выбросов обычных электростанций, работающих на природном топливе. Для работы топливных элементов первого поколения не требуется воды для охлаждения. Они не производят заметного шума. От размещения этих электростанций в населенных пунктах не может быть никаких вредных последствий. Еще достоинства. Уменьшение капитальных затрат и потерь при передаче энергии, так как эти станции можно расположить в непосредственной близости от потребителей. Блочный (модульный) подход существенно повышает эксплуатационную надежность таких электростанций и позволяет производить текущий ремонт без остановки всей станции.

Если бы удалось электростанции на топливных элементах объединить с каким-нибудь вторичным устройством, например, с тепловым насосом, который бы утилизировал выделяющееся при работе топливных элементов тепло, то можно было бы получить суммарный КПД системы до 94 процентов. Используемое тепло компенсировало бы энергетические затраты на конверсию исходного топлива. Но сделать это на установках первого поколения трудно: их температура низка. И специалисты начали работу над вторым поколением. Тут в качестве электролита уже будут использоваться расплавы карбонатов. Топливные элементы будут поэтому работать при температурах 500—750 градусов Цельсия (водные растворы электролитов выдержать подобных условий, очевидно, не могут). С суммарным КПД уже в 40—55 процентов. Другое достоинство высокотемпературных систем — способность работать на топливе, не очищенном от примесей, возможность обходиться без дорогостоящих катализаторов из благородных металлов.

Но ученые и инженеры смотрят еще в более далекое будущее. В угольную эпоху, когда нефть и газ истощатся. Видимо, лет через 10—20 появится и третье поколение ЭХГ — с твердым окисным электролитом, — работающих при температурах выше 750 градусов. Эти установки будут иметь КПД больше 60 процентов и смогут действовать совместно с газификаторами угля. Это будут уже мастодонты электрохимической энергетики мощностью в сотни мегаватт.

Конечно, наивно полагать, что в электрохимической энергетике все идет гладко. Состояние любой из этих разработок оценивается обычно по трем параметрам: тепловой мощности (сколько килокалорий тратится при сжигании топлива на получение киловатт-часа полезной энергии: очевидно, эта величина должна быть по возможности низкой), капитальным затратам на получение киловатта мощности и, наконец, сроку службы. Наибольшие трудности исследователям доставляет последний показатель. И все же как заманчива идея электрохимической энергетики. Если технические проблемы будут преодолены и топливные элементы окажутся экономически жизнеспособными, то к 1985 году предполагают построить в США и подключить к общенациональной электросети целый ряд таких электростанций общей мощностью 20 000 мегаватт, что даст в производстве электроэнергии ежегодную экономию в I миллиард долларов и сэкономит еще около 16-Ю^{6} кубометров нефти. Не говоря уж об экологических преимуществах и прочих (уже отмечавшихся) достоинствах топливных элементов.

ГЛАВА 7

ЭНЕРГОХИМИЯ, ИЛИ УГОЛЬНЫЙ РЕНЕССАНС

Будущее находится скорее в «костях ученых», нежели на кончике их языка.
Ч, Сноу

Февраль 1978 года. Новосибирск. Общее собрание Сибирского отделения Академии наук СССР. Обсуждается новая крупномасштабная долгосрочная суперпрограмма — «Комплексное освоение природных ресурсов Сибири», или просто «Сибирь».

Все 24 подпрограммы проекта «Сибирь» нацелены на быстрейшее освоение богатств восточной половины нашей страны. Все очень интересны, значительны. Но, пожалуй, наиболее дерзок — он отличается размахом и теснейшей связью с самой современной передовой наукой — один из «красноярских пунктов» программы «Сибирь» — энергохимический.

Нефть против угля

Это, так сказать, заочное соревнование началось давно — много тысяч лет назад. Когда человек оценил горючие свойства угля и нефти. Однако соперничество резко обострилось лишь в последнее десятилетие.

Полистайте старые журналы начала века. На пожелтевших фотографиях вы непременно увидите паровозы, пароходы; кочегара, лопатой бросающего уголь в топку. Кучу угля в котельной...

Лет восемьдесят назад, с началом электрической эры, главным топливом был уголь. «Король-уголь» называли его тогда: он составлял четыре пятых в так называемом топливном балансе.

Уголь душил нефть, не давал ей ходу. Из него научились (воздействуя высокой температурой без доступа воздуха) выделять светильный газ, который начал широко использоваться для освещения и отопления городов.

Но угольное засилье не могло продолжаться вечно. Первая промышленная скважина (глубиной в десять метров), пробитая в США в штате Пенсильвания, дала «черное золото» — нефть — еще в 1859 году. И хотя местный священник проклял «дыру в Земле», через которую обкрадывали, по его мнению, подземное божье судилище и мешали поджаривать грешников на вечном огне, нефть вскоре согнала уголь с трона энергетики.

После окончания второй мировой войны уголь отступил на второй план, сник. Нефтяники заслонили шахтеров. Пришла эра нефтяного бума. А к 1970 году нефть и природный газ (добываемый нередко из тех же месторождений, что и нефть) занимали уже две трети в мировом топливном балансе.

Любопытно, что из нефти вначале вырабатывали только керосин, а бензин считали вредной примесью. Он слишком легко воспламенялся и вызывал пожары. Старые рабочие Баку до сих пор помнят, как за пределами Черного и Белого городов время от времени возникали громадные столбы дыма: это заводчики сжигали накоплявшийся у них никому тогда не нужный бензин.

И вдруг на эту «опасную примесь» возник грандиозный спрос! Автомобили. В 1895 году в США было всего четыре автомобиля, сейчас сотни миллионов. И это стальное стадо пожирает колоссальное количество бензина, а с ним и нефти. Когда научились простой перегонкой получать из нефти бензин, керосин и попутные газы, «принцесса»-нефть прочно захватила трон, прогнав с него уголь — бывшего владыку.

Казалось, нефть победила уголь окончательно и бесповоротно, но то была иллюзия. О новом этапе старого соперничества возвестил разразившийся в странах капиталистического мира в сентябре 1973 года энергетический кризис. Он был как гром среди, казалось бы, ясного неба.

Суть кризиса ясна. Нефть на земном шаре распределена неравномерно. Как правило, там, где она нужнее всего, ее мало. И потенциальные запасы нефти невелики. Так, например, собственных нефтяных ресурсов США может хватить лишь на несколько лет. А пик мировой добычи нефти ожидается где-то к 2000 году: затем кривая нефтедобычи пойдет под уклон, хотя потребность в нефти и ее заменителях будет неуклонно расти.

Нефть в энергетике неохотно сдает свои позиции. И все же финал соперничества нефть — уголь уже сейчас нетрудно предсказать. Возврат к углю неизбежен. Слишком неравны запасы нефти и угля. Угля хватит на сотни лет. Вот только вопрос, как им лучше распорядиться.

Четвертая кочегарка страны

Вероятно, уже трудно найти в нашей стране человека, который бы не знал смысла слова

КАТЭК, не слышал бы про Канско-Ачинский топливно-энергетический комплекс. Про гигантскую стройку, развернувшуюся в Красноярском крае согласно директивам XXV съезда нашей партии. Но мало кто представляет себе истинные масштабы работ.

Предлагаем читателям побывать на одном из угольных разрезов КАТЭКа, а именно — Ирша-Бородинском.

Мы стоим на краю крутого обрыва. Под ногами — взрытая открытым способом на глубину сто метров сибирская твердь. Отчетливо виден протянувшийся на 5 километров жирной черной полосой 30-метровый пласт угля.

Вдали на угольных откосах совсем игрушечный (словно мы находимся в королевстве Диснея) электровоз тащит спаренный состав с углем. Сам себе в этом угольном царстве кажешься Гулливером. Хочется опереться взглядом на что-нибудь крупное, не игрушечное, а настоящее. Ага! Вот достойный объект. Роторный экскаватор ЭРШРД-5000. Гигант: высота — 58 метров, длина — 150. Его стальной хобот неутомимо грызет угольный пласт. Над зубьями ковша угольное облако. Машинисту электровоза зевать не приходится. Экскаватор способен каждую минуту нагрузить углем два железнодорожных полувагона грузоподъемностью в 65 тонн...

Сибирский поселок шахтеров Бородино имеет самое непосредственное отношение к Бородинскому сражению 1812 года. За стойкость и отвагу один из полков, участвовавших в битве с Наполеоном, по высочайшему повелению был переименован в Бородинский. Позднее герои Отечественной войны вышли на Сенатскую площадь. Самодержец Николай I сослал мятежников в Сибирь. Так в далекой Енисейской губернии возник поселок ссыльных декабристов — Бородино.

Многое изменилось здесь за 150 лет. В сибирскую глухомань пришла невиданная техника. На этом экскаваторе стоит второй номер. Всего в стране три таких силача. Каждый добывает в сутки 50 тысяч тонн угля, в год — 9 миллионов.

Угольное Бородино. Мирное поле, под которым природа спрятала миллиарды тонн бурого угля, в несколько раз больше того, что страна добудет в последнем году 10-й пятилетки.

А ведь Ирша-Бородинский разрез лишь малая толика богатств КАТЭКа. Только теперь начинаешь по-настоящему осознавать грандиозность возводимой за Уралом четвертой (после Донбасса, Кузбасса и Экибастуза, а в перспективе самой крупной среди них) «кочегарки» страны.

Угленосные отложения КАТЭКа (в основном бурый уголь) протянулись на сотни километров вдоль сибирской железнодорожной магистрали — с запада, от реки Золотой Китат, до реки Бирюсы на востоке. На этой линии — города Ачинск, Красноярск, Канск.

В Канско-Ачинском бассейне уже сегодня два действующих разреза — Назаровский и Ирша-Бородинский — дают угля больше, чем бассейны Подмосковный и Печорский. О размахе работ говорит такое сравнение. Донбасс развивался около ста лет и дает сейчас 220 миллионов тонн угля. КАТЭК через 15—20 лет даст 350 миллионов.

Таких топливно-энергетических комплексов не было еще на планете. В США действует известный комплекс «Теннесси»: в нем 31 электростанция с суммарной мощностью лишь 13 миллионов киловатт. КАТЭК в перспективе даст 100 миллионов киловатт.

Лишь первенец КАТЭКа — Березовская ГРЭС-1 — будет обладать мощностью в 6,4 миллиона киловатт — столько же энергии в год будут давать Красноярская и Саяно-Шушенская ГЭС, вместе взятые.

У Сибири свой ритм и темп. Если, скажем, за десятое пятилетие промышленное производство нашей страны должно увеличиться в среднем на 35—39 процентов, то для Сибири установлены задания в полтора раза более высокие. И если европейская часть СССР мерит время пятилетками, то в Сибири счет идет уже на десятилетия.

Еще на XXV съезде партии Леонид Ильич Брежнев подчеркивал необходимость разработки крупных комплексных программ, рассчитанных на два-три пятилетия, — таких, как программа развития топливно-энергетических комплексов. От их реализации зависит весь технико-экономический прогресс страны.

К западу от Красноярска строится административный центр КАТЭКа — новый город шахтеров и энергетиков — Шарыпово. Здесь сегодня кипит большая стройка. Неподалеку создается крупнейший в стране Березовский разрез № 1, уже ведется проходка его траншеи: она вскроет угольный восьмикилометровый пласт.

Здесь же, на шарыповской земле, скоро начнется нулевой цикл работ по возведению главного корпуса Березовской ГРЭС-1, и там, где сейчас стоит стела, через несколько лет поднимется величественный корпус крупнейшей в стране тепловой электростанции.

Разрез и ГРЭС свяжут две контейнерные линии: по ним станция будет получать более 25 миллионов тони угля в год. А у озера Ашпыл строится производственно-комплектовочная база Минэнерго СССР: она будет обслуживать строительство всех ГРЭС Шарыповского промышленного узла Канско-Ачинского бассейна.

Думали ли ребята, сидящие несколько лет назад за школьными партами в старинном сибирском селе Шарыпове, что вскоре тут начнется строительство города шахтеров и энергетиков с 250-тысячным населением? Что весь этот район прорежет сеть железнодорожных подъездных путей, станций и узлов? Словно по волшебству, возникнет аэропорт с бетонированной взлетно-посадочной полосой, многочисленные автострады, линии

связи, телевизионный ретранслятор?..
Именно так начинались и КамАЗ, и БАМ, и Саяно-Шушенская ГЭС: первые поселки, базы, дороги, первая волна прибывающих новоселов...

Энерготехнология

Первобытный человек нашел и принес в пещеру горящую ветку. Это был прообраз длинной цепи источников энергии — даровой машины, дизельного двигателя, ГРЭС. Шли годы: менялись размеры устройств, рост КПД использования топлива, инженерное, конструкторское искусство. Но принцип был все тот же: законсервированная когда-то, миллионы лет назад, в растениях солнечная энергия при сжигании угля, нефти, природного газа превращалась в тепло, а затем в электроэнергию. «Не топить ассигнациями...» — об этом предупреждал еще Менделеев. Сейчас эти слова приобретают буквальный смысл, ибо в условиях энергетического кризиса на Западе нефть катастрофически дорожает. Ее стоимость за последние несколько лет возросла в пять раз и составила 80—90 долларов за кубический метр.

Нефть — ценнейшее химическое сырье. Из нее вырабатываются бензины, этилен, полиэтилен, ацетилен, метанол и другие незаменимые продукты. Но почему только из нефти? А углы, в частности бурые, канско-ачинские?

Уместно вспомнить недавнее прошлое. Прежде химические продукты получали в основном из угля. В 20— 30-е годы в Германии, Англии, США, СССР проводились обширные научно-исследовательские и опытные работы. Они привели к созданию, в том числе и у нас в стране, промышленности для производства из угля моторных топлив и всевозможных химических продуктов.

Однако после окончания второй мировой войны эти методы были забыты. Пришла Большая Нефть. Во времена нефтяного бума исследования по углю были почти что искоренены, заводы, производящие эрзац-бензины, демонтированы. Но время диктовало свои условия. Еще лет пять назад бесполезно было спрашивать про метод Лурги, про процесс Фишера — Тропша и другую технологию химической переработки угля: все было, казалось, прочно забыто... А в 1977 году в США был объявлен конкурс на создание к 1985 году промышленного предприятия мощностью 15—18 миллионов тонн в год синтетических топлив.

Вот так и оказалось, что угли сейчас — это не только топливо, но и сырье для химии. И очень жаль не только нефть, но и уголь сжигать просто так, безвозвратно расходуя накопленные природой богатства. Эта простая мысль и родила новые технологические подходы к использованию углей КАТЭКа, попытку получить из них одновременно и топливо, и химические продукты.

По-видимому, в будущем наукой будет предложено множество путей для реализации этого заманчивою варианта. Сейчас же наиболее четко определился подход, имя которому — энерготехнология.

Энерготехнологию разрабатывают ученые Энергетического института имени Г. М. Кржижановского под руководством директора этого института члена-корреспондента АН СССР 3. Чуханова.

Энерготехнологический метод комплексной переработки состоит в нагреве до высоких температур угля без доступа воздуха. При этом уголь разделяется на три вида продуктов: газообразные (их можно сжигать либо же использовать для химической переработки), жидкие (смола, бензол — высококачественное котельное топливо и сырье для производства синтетических веществ) и твердые (полукокс, кокс — бездымное, высококалорийное топливо, термоуголь с теплотой сгорания 6200—6400 килокалорий на килограмм, годен для перевозки на дальние расстояния).

В основе технологии, разработанной 3. Чухановым, так называемый скоростной пиролиз. Рядовой сырой уголь в отличие от прежней технологии подается в камеру термического разложения не кусками, а в виде сухой угольной пыли, находящейся во взвешенном состоянии Б потоке горячих газов (циклонов). Скорость нагрева частиц угольной массы теперь возросла в тысячи раз. Сам процесс термического разложения (температура порядка 600—1000 градусов) стал высокопроизводительным и рентабельным.
Энерготехнологический метод облагораживает бурый уголь В исходном сырье много влаги (до 40 процентов), а возить воду за тысячи километров не очень-то выгодно. При высыхании же бурый уголь растрескивается, превращается в порошок, летучую пыль: при транспортировке в вагонах большие потери становятся неизбежными. Естественно поэтому, что получаемый при скоростном пиролизе полукокс более удобен для перевозок на дальние расстояния.

Сейчас на Красноярской ТЭЦ-2 возводится первая промышленная установка ЭТХ-175 для энерготехнологической переработки канско-ачинских углей. Ее производительность — 175 тонн угля в час (1,2 миллиона тонн в год).

Энерготехнологические комбинаты КАТЭКа, строительство которых предусмотрено постановлениями XXV съезда партии, позволят в будущем, по расчетам авторов этого проекта, экономить сотни миллионов тонн нефтепродуктов. Так угольный КАТЭК станет для страны не только четвертой кочегаркой, но и второй Тюменью!

Венерин башмачок

В Красноярье природа, казалось бы, сама пошла навстречу чаяниям человека. Залежи канско-ачинского угля расположены в обжитых местах, да еще вдоль железнодорожной магистрали. Добывай — грузи в вагоны — и в путь: к жаждущим топлива ГРЭС европейской части СССР.

Другой немаловажный плюс — этот уголь собран в мощнейшие пласты, расположенные горизонтально почти у самой поверхности земли. Их можно брать открытым способом. Техника для этого есть, и очень производительная. К примеру, гигантский экскаватор-драглайн ЭШ-100/100, имеющий размах стрелы 100 метров и 100-кубовый объем ковша, способен за минуту переместить 100 кубометров грунта на 200 метров по горизонтали и 80 метров по вертикали.

Вот и возникают заманчивые эпитеты — самый перспективный уголь, самый дешевый... Но это, к сожалению, лишь одна сверкающая, что ли, сторона медали. Увы, как во всяком большом деле, есть и другая, так сказать, негативная.

Когда затевают мероприятие столь внушительных размеров, как КАТЭК, прежде всего необходимо подумать о возможных и, в общем-то, неизбежных во всяком новом деле минусах.

По планам формирование КАТЭКа разбито на два этапа. Строительство энерготехнологических комбинатов начнется где-то после 1990 года, а до этой поры бурый уголь будет использоваться только в качестве топлива на мощных тепловых электростанциях, построенных в непосредственной близости от разрезов.

Но тут могут вступить в действие экологические ограничения.

За сутки мастодонты энергетики вроде Березовской ГРЭС будут пожирать 500 тысяч тонн угля, астрономические объемы кислорода воздуха и извергать колоссальное количество углекислого газа, горы золы (подсчитано, что за десять лет работы ГРЭС на поверхности земли вокруг них может появиться тридцатисантиметровый слой пепла), груды окислов азота и серы (ее в канско-ачинском угле мало, но масштабы переработки угля велики).

И все это в сравнительно небольшом и уже довольно плотно заселенном регионе. Следует добавить тепловое загрязнение сибирских рек, расположенных поблизости. На реке Чулым запланировано строительство ряда водохранилищ. И вот из недр ГРЭС потекут реки горячей (70—90 градусов) воды, и ее будет так много, что никакие тепличные хозяйства или потребности отопления вырастающих здесь городов не смогут ее «поглотить». Горячую воду придется сбрасывать со всеми вытекающими из этого последствиями.

Могут спросить: но так ли уж необходимо форсированное строительство таких гигантов энергетики на угле? Не проще ли, скажем, возводить гидроэлектростанции? Рек в Сибири предостаточно, они могучи.

Ответ однозначен. Сибирь — край суровый. Тут так: сначала энергия, потом жизнь. Взять таежные богатства, освоить новые места, жить завтра лучше, чем сегодня, смогут лишь люди, хорошо вооруженные электроэнергией.

Темп развития Сибири таков, что сейчас каждые два года необходимо возводить такой колосс, как Красноярская ГЭС. А в одиннадцатой пятилетке уже каждый год! Но понятно, что за год вводить в строй ГЭС масштаба Красноярской крайне затруднительно. Выход — сжигать канско-ачинский уголь как самый доступный и экономически выгодный. Но природа Сибири очень хрупка. Ее способность к восстановлению понижена. В свое время прошедший здесь ледник, словно скальпель, снял с черепа Земли и унес плодородный гумусовый слой. И земли Сибири еще не оправились от этого удара.

Добавьте сюда еще слой вечной мерзлоты, суровый резко континентальный климат. Летом на Красноярском море, на горячем песке глядишь вокруг на бескрайнюю гладь воды, на зелено-синие горы, и кажется, что ты на Кавказе. Но это мираж: достаточно слегка углубиться в тайгу, где растут реликты (например, занесенный в Красную книгу венерин башмачок), требующие самого бережного к себе отношения. И получается противоречие между необходимостью быстрого ввода в дело энергетического потенциала Красноярья и заботой об охране окружающей среды.

Так вот и складывается довольно типичная для Сибири ситуация: необходимость своего, сибирского, нестандартного, нетрадиционного решения проблемы КАТЭКа. И такой вариант, кажется, возник.

Энергохимия — слово неновое

Теперь даже ребенок знает: энергетика — это когда сжигают нефть или уголь, а полученное тепло превращают в электричество. Непременная деталь — дым из труб: это газы, продукты сгорания.

Дым вовсе не обязательно лишь отбросы, загрязняющие атмосферу. Есть тут и ценные вещества: из них можно получать химические продукты.

Столь же наивно можно представить себе и химический завод. Ему нужно сырье — какие-

то органические газы — и энергия, чтоб добиться определенных химических реакций. Отходом же становится тепло.

Легко видеть: энергетическое и химическое производства — они словно свет и тень или негатив и позитив. В самом деле, в энергосхеме, скажем, энергия — это продукт, результат превращений, а в химической установке она, так сказать, исходное сырье, «полуфабрикат». То же можно сказать и про газы, что бесполезно выбрасываются из труб тепловых электростанций. А из тепла химических предприятий можно было бы в принципе получать дополнительную энергию.

Мечта ученого и прожекты фантазера — это вещи разные. Первое рано или поздно становится реальностью, основой технологии завтрашнего дня. Энергохимия — мечта об объединении энергетики и химических производств. Эту идею еще в 1934 году пытался реализовать профессор МГУ Н. Кобозев.

Мысль Н. Кобозева отталкивалась от следующего факта. При неполном сгорании угля или нефти в особых условиях образуются как «отходы» водород и окись углерода. А из этих элементов-кирпичиков можно построить любое химическое вещество. Синтезировать все, вплоть до бензина.

В 1940 году Н. Кобозев превратил обычный двигатель внутреннего сгорания (мощностью в 65 л. с.) в первую в мире энергохимическую установку. Он сжигал в двигателе горючий газ — метан. Получал энергию и попутно ценнейшие химические продукты.

К сожалению, широкого развития энергохимия тогда не получила — началась жестокая война с фашизмом... Но мечта об энергохимии не умерла, она ждала своего часа, ждала могучих союзников, ждала, пока наберет силу еще одна давняя плодотворная идея.

Что мешает истинному возрождению угля, его быстрой победе в споре с нефтью? Мешает несовершенство тепловых машин: их низкий КПД. Первобытный человек собирал лишь крохи тепла (чтобы изжарить мамонта, изводили, видимо, целую рощу). Современная ТЭС или ГРЭС способна усвоить гораздо больше: из каждого килограмма угля — 300, даже 400 граммов. Прогресс! Но ведь и масштабы изменились: ежегодно в мире сжигают миллиарды тонн угля!

Вот если бы мы умели более экономно сжигать уголь, угольный ренессанс не заставил бы себя долго ждать. Но как этого добиться? Как сделать так, чтобы возвращение к углю стало еще одним «витком спирали» — новым этапом земной энергетики?

Такие средства есть. Это прежде всего топливные элементы, о которых мы подробно рассказывали выше. Устройства, осуществляющие «холодное» горение топлива. Однако горение обычное, так сказать «горячее», также еще не исчерпало всех своих ресурсов.

Еще в 1831 году знаменитый английский физик Фарадей показал, как можно более экономно извлекать энергию из топлива.

Нужны высокие температуры: не сотни, а тысячи (как на поверхности Солнца!) градусов. Но в этих условиях продукты сгорания угля уже не могут быть паром — здесь электроны отрываются от атомов, нейтральные молекулы дробятся на заряженные ионы: образуется не газ, а звездное вещество — электропроводная плазма.

Ну а желанный электрический ток можно было бы получить, если поток мчащейся с огромными скоростями горячей (бывает и холодная!) плазмы пропустить сквозь магнитное поле...

То устройство, о котором мы рассказываем, называется сейчас магнитогидродинамическим генератором, или кратко МГД-генератором. Ни этих слов, ни понятия о плазме, о сложности строения атомов и так далее Фарадей, конечно, не мог знать. И все же — о, прозрение гениев! — он не только заложил основу всей современной энергетики, но и наметил направления будущих научных поисков.

Фарадей пытался гениально просто доказать свою правоту. Нужна плазма? поток ионов? — их даст соленая морская вода, поступающая во время прилива в Темзу (Лондон расположен почти на побережье Северного моря, в эстуарии Темзы). Магнитное поле? — его создаст сам земной шар! Дело оставалось за малым: проверить — пойдет ли гок? Фарадей перекинул провод через один из мостов Темзы. И вот тут-то, как говорится, техника подвела.

Стрелка амперметра не двигалась. Ток возникал, но ничтожно слабый. С помощью тогдашних примитивных приборов зарегистрировать его было невозможно. Мечта о высокоэффективных преобразователях тепловой энергии топлива непосредственно в электрический ток опередила свое время.

Однако опыт на Темзе не давал покоя ученым многих поколений. Фарадей пользовался простейшими подручными средствами, теперь же в распоряжении ученых камеры сгорания, способные извергать мощные сверхзвуковые потоки плазмы, раскаленной до тысяч градусов. Есть и сильные магнитные поля.

Успехи в теплофизике, физике твердого тела, газо- и гидродинамике позволили наконец создать огнеупорные материалы, которые могут работать при звездных температурах и удерживать поток огненной струи и электроды, отбирающие у плазмы электрический ток.

Еще лет пятнадцать назад казалось: на создание МГД-генераторов уйдут многие десятилетия — столь фантастических условий требовало техническое воплощение плазменной

энергетики. Однако уже в 1971 году в СССР впервые в мировой практике было завершено создание опытно-промышленной МГД-установки У-25.

И наступил долгожданный вечер, когда электропитание от МГД обеспечило электроэнергией большой район Москвы. Правда, проработала установка всего лишь неделю, но и это был беспрецедентный результат!

Опыт советских исследователей (здесь велики заслуги академиков В. Кириллина и А. Шейндлина) дает возможность уже сейчас перейти к проектированию и созданию МГД-электростанций первого поколения. Они в сравнении с «классическими» энергоустановками позволят поднять КПД с 30 до 50 процентов!

В настоящее время в СССР закончено технико-экономическое обоснование первого промышленного блока с МГД-генератором мощностью 500 мегаватт, предназначенного для Рязанской ГРЭС.

Его выпуск, намеченный на конец 11-й пятилетки, станет днем рождения крупной МГД-энергетики. Она сыграет прогрессивную роль в улучшении топливно-энергетического баланса нашей страны.

Сибирский вариант

Эффективно сжигать канско-ачинский бурый уголь в МГД-генераторах заманчиво. Но где же тут место для химии, точнее, углехимии, а еще более точнее и новее — для энергохимии?

В 1628 году московский воевода Андрей Дубенский привел в урочище Красный Яр триста казаков — так у Енисея, в том месте, где в него втекает своенравная речка Кача, возник острог Красный, прадед современного, почти миллионного Красноярска. В 1978 году, в августе, город торжественно праздновал свой 350-летний юбилей.

Похоже, что в какой-то мере история повторяется: многие ученые-москвичи открывают сейчас Красноярск как новую научную столицу. Среди них и бывший москвич, доктор химических наук С. Губин. Он директор-организатор нового Института химии и химической технологии, он же председатель научного совета «Угли Канско-Ачинского бассейна» (одного из пунктов комплексной суперпрограммы «Сибирь»). Он и один из авторов энергохимического проекта.

Н. Кобозев, о котором мы уже говорили, сжигал метан. Сжигал в двигателе внутреннего сгорания: жечь в нем уголь невозможно. Но это прекрасно умеет делать МГД-генератор! Так будущее углей планеты тесно сплелось с судьбой МГД-установок — детища самых новейших достижений науки и техники.

Сибирским ученым хочется, так сказать, убить сразу трех зайцев: сделать бурые угли не просто топливом, но и ценнейшим химическим сырьем, которое могло бы не просто конкурировать, но и заменить нефть и природный газ. И при этом сберечь природу: создать технологию безотходную, с минимальным потреблением воды и загрязнением атмосферы. Вот тут начинает прорисовываться совершенно новый подход к делу — то, что можно было бы назвать энергохимическим вариантом.

В центре технологической схемы, которую они разрабатывают, уже знакомый нам МГД-генератор. Есть тут и узел подготовки бурого угля, и узел химической его переработки. Соль, изюминка энергохимического проекта в том, что бурый уголь будет сжигаться не до конца, не до обычной углекислоты, а будет превращен в окись углерода.

Вот она — основная «валюта» процесса, его, если можно так выразиться, разменная монета. Окись углерода и есть то вещество, которое одновременно является и прекрасным топливом, и сырьем для химии.

Хитрость тут та, что в МГД-генератор будет подаваться вовсе не уголь, а все та же окись углерода. При сжигании ее, как и полагается согласно химическим законам, будет вырабатываться углекислый газ. Он в раскаленном, плазменном состоянии в МГД-преобразователях и станет источником электроэнергии.

Но это еще не конец процесса. Вырвавшаяся из сопла струя отработавшего углекислого газа несет в себе огромный запас энергии. Эта раскаленная струя поступит в специальный реактор, где будет находиться мелкоизмельченный бурый уголь. Здесь произойдет химическая реакция: уголь, соединяясь с углекислым газом, образует окись углерода.

Вот теперь-то наконец можно говорить о цикле. Мы сожгли одну молекулу окиси углерода, а получили, оказывается, две! Одну можно вновь направить в цикл с МГД-геиератором, а другая станет основой для дальнейших химических превращений.

Согласно известному каталитическому процессу Фишера—Тропша при соединении с водородом окись углерода способна дать всю гамму необходимых химии углеводородов. Весь спектр тех углеводородов, которые ныне только по традиции связывают с нефтехимией. Можно, например, вырабатывать бензины, этилен, полиэтилен, ацетилен, метанол и так далее — разнообразнейшее сырье для химической промышленности.

Итак, энергия плюс химия — энергохимия. Что это дает? Очень многое.

В этой схеме практически нет воды, следовательно, нет и теплового загрязнения сибирских рек. Отсутствуют выбросы окислов азота и других вредных газов и пыли в атмосферу. Нет традиционной высокой трубы ГРЭС, из которой дни и ночи валит дым. Количество выделяющегося углекислого газа, по оценкам, составит лишь 10 процентов от того,

что выбрасывают при обычном сжигании угля.

Энергохимической проект в идеале характеризует замкнутость веществ и энергии; возможность легко перестраивать комплекс и в сторону преимущественного производства электроэнергии, и при необходимости в сторону преимущественного получения химических продуктов; значительное увеличение КПД энергетической части (до 45—55 процентов) и всего производства в целом; уменьшение удельной капиталоемкости и металлоемкости за счет перехода на более высокие давления и температуры процессов, сокращения многих промежуточных стадий, дублирующих друг друга в отдельно взятых энергетических и химических производствах.

В проект «Энергохимия» входит комплекс теплиц, где под действием искусственного света, углекислого газа и тепла водяного пара на специальных почвах (на основе гуматов бурого угля) скоростным индустриальным методом будут выращивать хорошие урожаи.

Да, это будет экологически чистое предприятие, но... Как часто это междометие встает на пути — мешает реализации столь заманчивых проектов!

У действующего сейчас первого поколения МГД-генераторов есть одно слабое место: даже при 3000 градусов (на поверхности Солнца температура всего в два раза выше!) электропроводность плазмы еще низка, в ней мало свободных электронов, и, значит, будет недостаточно велик и генерируемый ток. Поднять же температуру плазмы, чтобы увеличить электропроводность (необходимы десятки тысяч градусов!), трудно, да и никакой материал не выдержит подобных условий.

Обычно для искусственного поднятия электропроводности в раскаленный газ «впрыскивают» присадки — легкоионизирующиеся вещества: пары щелочных металлов — калия, цезия... Электроводность повышается, но зато появляются новые заботы.

Присадки очень агрессивны: все разъедают на своем пути, кроме того, попадая в воздух с отработанными газами, они загрязняют атмосферу. Затем, присадки дороги: и выбрасывать просто так каждую секунду сотни граммов ценного вещества очень накладно. Очистка? Но это означает принудительное охлаждение отработанной плазмы, а она бы еще могла потрудиться...

Молнии Соколова

Энергохимия явственно распадается на энергетическую и химическую части. О химической мы уже говорили, перейдем к энергетической. В ней вся трудность: как быть с присадками?

Ректор Красноярского государственного университета, доктор физико-математических наук В. Соколов, как и С. Губин, тоже автор сибирской энергохимии. Энергохимическому проекту крупно повезло. В 1969 году группа советских математиков (среди них академики А. Тихонов и А. Самарский) и физиков получила диплом на открытие. Оно давало путь второму поколению МГД-генераторов: с так называемым Т-слоем. Системам, которые могли бы действовать без досадных присадок.

История открытия Т-слоя удивительна, и хотя бы вкратце ее стоит рассказать.

Вначале о новом инструменте научного познания, о так называемом «вычислительном эксперименте». Странное словосочетание! Казалось бы, эксперимент — это удел физиков (если говорить, как в нашей повести, о плазме), а вычисления, расчеты должны числиться по ведомству математиков.

Рассуждая прямолинейно, можно ту же мысль выразить и по-иному: эксперимент обычно проводят тогда, когда сложное физическое явление не поддается расчету. А уж если расчет возможен, то тут эксперимент вроде бы становится лишним.

Однако подобный ход мысли уязвим. Теперь физики часто имеют дело со столь сложными объектами нелинейной природы, что отдельно взятые ни расчет, ни эксперимент не помогают. Выразимся более определенно. Очень часто оказывается, что натурный эксперимент невыполним, настолько он сложен, дорог и рискован, а существующие методы расчета не в состоянии описать явление с необходимой точностью. (Увы! То «золотое время», когда можно было обойтись сравнительно несложным математическим аппаратом и получить ответ «на пальцах», проходит, если не прошло!)

Именно так обстояло дело во времена, когда человек начинал овладевать ядерной энергией. Эксперименты с ядерным горючим таили в себе риск катастрофического взрыва, а классическая математика обнаружила свое бессилие в решении возникших проблем. Вот тогда-то, видимо впервые, и выручил новый подход к делу — вычислительный эксперимент.

Но вернемся к нашей истории.

В государственном реестре Комитета по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР под номером 55 с приоритетом от 10 ноября 1965 года значится открытие нового физического эффекта — Т-слоя. Он также был открыт с помощью вычислительного эксперимента. Тут, кроме математиков (из Института прикладной математики АН СССР) и физиков (из Института теоретической и прикладной механики Сибирского отделения АН СССР), полноправным соавтором открытия выступила и ЭВМ.

Ситуация была спорной, необычной, даже сомнительной. Шутка ли, сугубо физический (плазма!) эффект открыт... математиками! Это породило борьбу мнений, вызвало недоверие со стороны некоторых ученых-физиков, занимающихся исследованием плазмы.

Надо отдать должное Комитету по делам изобретений и открытий. Он проявил тогда определенную смелость, создав прецедент и впервые в своей практике признав открытием чисто теоретическую работу.

Между тем, получив от математиков точное описание нового эффекта, физики взялись (теперь это было делом уже более легким) обнаружить Т-слой экспериментально. И поиск сравнительно быстро (ЭВМ доказала существование Т-слоя в 1968 году, а публикация физиков появилась в 1973-м) привел к успеху. Сразу три (!) различных научных коллектива — в Москве, Новосибирске и Сухуми — независимо друг от друга на разных установках зарегистрировали этот эффект.

Одним из авторов открытия, и теоретического на ЭВМ (в 1968 году он был еще кандидатом наук), и экспериментального (в Новосибирске), был профессор В. Соколов. С этим человеком стоит познакомиться поближе.

Краткая биография: жил и учился в Москве, работать поехал в новосибирский академгородок, там сделал важные открытия, создал свою научную школу. Но два года назад В. Соколов расстается с Новосибирском и перебирается еще на тысячи километров к востоку — в Красноярск. Вслед за ним отправляются его ученики, коллеги, сподвижники, ибо бескрайние просторы Красноярья с его несметными угольными россыпями — уникальный полигон для невиданных прежде технологий.

Результат работы ученых — новый тип МГД-генерагоров. В принципе его действия Т-слои, узкие локальные зоны в плазме, температура в них очень высока в сравнении со средними температурами плазмы, поэтому здесь велика и электропроводность. Тем самым появляется возможность работы МГД-генераторов на «чистых» продуктах сжигания, без щелочных присадок.

Есть и другие достоинства новой системы — можно получать непосредственно переменный ток, удается значительно понизить среднюю температуру плазмы, значит, и требования, довольно суровые к материалам, из которых должны быть изготовлены части МГД-генераторов.

Да, энергохимическому проекту повезло. Около пятнадцати лет назад, сначала в Москве, затем в Новосибирске, В. Соколов вместе со своими сотрудниками занимался изучением сильного нелинейного взаимодействия плазмы с магнитным полем. Тема считалась тогда экзотической. Однако сейчас результаты исследований становятся основой для более совершенных МГД-устройств, к тому же как бы специально приспособленных для целей энергохимии.

Исследования Т-слоя, его замечательных свойств ведутся в Красноярске в лаборатории нестационарной магнитной газодинамики, которой руководит сподвижник В. Соколова, кандидат физико-математических наук В. Деревянко.

Ученый мир много слышал о действующей модели Т-2, стеклянной трубе, рождающей молнии. Вся она пока умещается в небольшой комнате, где еще совсем недавно была раздевалка студенческой лыжной базы (настоящую лабораторию для В. Соколова и В. Дере-вянко строят неподалеку на территории красноярского академгородка). Молниям В. Соколова уже тесно в лыжной раздевалке. Им нужен бородинский простор и такие гиганты напарники, как ротор-пятитысячник.

Эти эксперименты стоит посмотреть.

На стеклянной двери, которая отгораживает экспериментаторов от установки, надпись: «Здесь нужно, чтоб душа была тверда, здесь страх не должен подавать совета». Слова нелишние: там, за дверью, царство высокого напряжения — 10 киловольт! Если дверь кто-нибудь ненароком, по забывчивости приоткроет, автоблокировка моментально вырубает все приборы.

Сотрудники Деревянко все приготовили. За стеклом видна 800-миллиметровая, наполненная гелием труба. Два оператора, справа и слева от двери, колдуют над приборами. Один стоит за пультом, напоминающим электроорган, где вместо клавишей тумблеры и мудреные, несколько пугающие надписи: «Заряд пушки», «Поджигающее устройство»... Другой оператор, сидя, вглядывается в зеленый глазок осциллографа. Слышна перекличка:

— Приготовились... Даю... раз...

Щелчок магнита — и ярчайшая вспышка света озаряет все вокруг. То полыхает раскаленный гелий. Увы, Т-слой увидеть трудно. Но то, чего не заметит человеческий глаз, разглядит скоростной фоторегистратор. Он зафиксирует мчащуюся со скоростью 5 километров в секунду раскаленную до 10 тысяч градусов ударную волну, пронесшуюся по трубе. Это и есть Т (температурный)-слой, диплом на открытие которого был получен Соколовым и другими исследователями.

Сейчас для ученых очередным шагом является создание демонстрационной модели МГД-генератора. Импульсы с Т-слоем на лабораторных установках они получили. Но нужна серия импульсов, чтобы установка проработала как минимум 100 секунд Это уже будет убедительно. Затем сибиряки начнут думать об опытно-промышленных устройствах, работающих на продуктах сгорания органического топлива...

Да, нешуточные эксперименты предстоит произвести красноярским исследователям, чтобы убедить мир в своей научной правоте. Чтобы перепробовать различные газы, необходимо соорудить собственный плазматрон. А магнит в 3 Тесла, мощностью в 5,6 мегаватта! Эта

махина будет весить 150 тонн и занимать объем 4 х 4,5 х 5 кубических метров. На фоне такого колосса МГД-установку будет не так-то просто разглядеть! Сжатые газы надо будет хранить: запахло компрессорной станцией и так далее, и так далее.

Угольное Бородино и Т-слой, ЭТХ-175 и МГД-генератор, экскаватор ЭРШРД-5000 и сверхдальние ЛЭП, несущие сибирский ток в европейскую часть СССР, кластерные катализаторы, позволяющие синтезировать искусственный бензин, гигантские, невиданные угольные разрезы и земные заботы новой столицы угольщиков — Шарыпова... И все это КАТЭК! Советский человек не витязь на распутье: налево пойдешь... направо... Наша наука дает четкие, обоснованные рекомендации практикам: как лучше использовать сказочные богатства Сибири, куда идти, как действовать. В КАТЭКе зримо и явственно проступает, шествует, грядет XXI век Страны Советов.

Уголь для СССР — это не временная кампания, а дело многих десятков, а то и сотен лет. Как бы предвосхищая это, Ленин недаром называл уголь «хлебом промышленности».

И истинное возрождение угля, несомненно, будет неразрывно связано с энергохимией. То, что сейчас значится как один из многих пунктов программы «Сибирь», над которой неустанно работают ученые Сибирского отделения Академии наук.

ГЛАВА 8

ЭРА ВОДОРОДА

Вся техническая фантазия человека состоит в том, чтобы взяться за дело не с того конца, с которого берется природа.
Карел Чапек

Кто-то писал, что в конце прошлого века, подплывая летом к Американскому континенту, путешественники сначала чувствовали запахи цветов, земляники и можжевельника, а потом уже видели землю. В XX веке, утверждают злые языки, характернейшими запахами Америки стали запахи бензина и продуктов его сгорания.

Стучит мотор, вибрирует, трепещет от возбуждения и силы. Чинит разбой трехсотмиллионное автомобильное стадо, пасущееся на всех дорогах планеты. Уже гуляет по свету анекдот о горожанине, «объевшемся» на загородной прогулке кислородом: чтобы он пришел в себя, его кладут под выхлопную трубу автомобиля. Мрачный юмор, за которым стоят довольно красноречивые цифры: на долю автомобильных выхлопов приходится львиная часть (более 60 процентов) от общего количества атмосферных загрязнений.

Когда-то (без малого полвека назад) авторы «Золотого теленка» изобрели прекрасный лозунг: «Пешеходов надо любить». Сейчас, в последней четверти нашего века, этот лозунг мог бы звучать и так: «Пешеходов надо спасать», прежде чем смог и ядовитые продукты сгорания углеводородов сделают невозможной жизнь в больших городах.

Правда, не все настроены столь пессимистично. Участники дискуссии о будущем автомобиля явно разделились на два лагеря. В одном преобладает дух понимания, снисходительности и терпимости. Легко догадаться — тут собрались в основном автовладельцы.

Болгарский писатель Павел Вежинов устами героя одной из своих повестей, говорит: «...Сажусь в машину, поспешно включаю мотор и сразу успокаиваюсь. Его тихий рокот несравненно приятнее журчания воспетых поэтами горных потоков...» И далее: «...Я уже не один, со мной мотор. Напрасно поносят это терпеливое и непритязательное существо за то, что оно извергает смрад. Ну, извергает, конечно, но, по крайней мере, делает это пристойно, а не рыгает, как люди после кислого вина и чеснока...»

Однако есть сторонники и противоположных взглядов. Негодующие, презирающие (как правило, люди эти ходят пешком!), они клеймят и гвоздят автомобиль. Веками, говорят они, люди мечтали о сапогах-скороходах: надел их (самолет? поезд? авто?), сделал шаг-другой — и ты уже в тридевятом царстве, тридесятом государстве... Да, сапоги эти хороши, но в них обнаружился «гвоздь», да еще такой величины, что, видимо, лучше сапог скорее снять и ходить босиком! Или, на худой конец, передвигаться на велосипедах...

Пока длится этот спор и кипят страсти, давайте заглянем в будущее. По улицам городов мчатся юркие бесшумные автомобили. Никаких выхлопных газов — прохожие наслаждаются свежим воздухом, который веет с полей и лесов... Насмешка? Глупая идиллия? Вовсе нет: если автомобили превратятся в водородомобили или электромобили, работающие на водородно-воздушных топливных элементов, ведь тогда продуктами сгорания станут пары воды! Но, конечно, мы позволили себе некоторую вольность — перенеслись мысленно в то, может быть, и далекое время, когда основой энергетики землян станет водород.

Просчет природы

В последние годы, пожалуй, самым «модным» словом в популярной литературе стало «кризис».

Энергетический...

Экологический...

Климатический...

Источник всех бед один — использование и истощение запасов угля, нефти и газа.

Но не следует считать, что все эти неурядицы — результат каких-то ошибочных действий человечества, его явный просчет. Отнюдь. Люди могли строить свою цивилизацию, лишь используя заготовленное природой «сырье». И не их вина, что этого «сырья» оказалось маловато, да и для окружающей среды, как выяснилось, оно «не подарок». А теперь немного фантазии. Представьте себе, что природа умела бы готовить и запасать впрок для человека не уголь и нефть, а водород. Вот тогда-то проблем у человека не было бы, видимо, никаких.

В самом деле, источник водорода безграничен — вода океанов и морей. Кроме того, соединяясь с кислородом воздуха и отдавая энергию, водород вновь превращается в воду — стало быть, источник этот самовосстанавливающийся, а значит, и вечный!

Второе: продукт сжигания водорода — чистая вода — не может загрязнить атмосферу. Следовательно, нет экологического кризиса, а также и климатического, ибо при этом исчезнут и огромные количества углекислого газа, выбрасываемого в атмосферу при

сжигании угля, нефти и газа.

Немаловажны и такие соображения. Водород — топливо идеальное. По способности выделять тепло он чемпион среди чемпионов: у него наивысшая теплотворная способность. При сжигании килограмма водорода (атомарного) выделяется в 8 раз больше энергии, чем при сгорании килограмма бензина.

Итак, природа допустила явный просчет. Конечно, ей было невдомек, что на планете Земля появится разумное существо, которое будет явно неразумно (неэффективно) транжирить ископаемую органику и мечтать о водородной энергетике. Впрочем, быть может, природа в данном вопросе не так уж и наивна, а наивны мы, люди, полагающие, что свои сокровища природа обязательно должна держать у всех на виду.

Согласно гипотезе советского ученого сотрудника Института геологии Академии наук СССР В. Ларина недра Земли на большой глубине буквально заполнены водородом. А значит, в будущем человек сможет черпать его из недр вместо нефти и газа.

Вулканологи давно установили: во время извержений вулканы выбрасывают в атмосферу большие массы водорода. Выброс этого газа подчас происходит и при бурении глубоких скважин. Наконец, в Исландии обнаружены очаги, где водород свободно выходит на поверхность из неведомых глубин.

В. Ларин полагает: в период образования планеты из пылегазового облака металлы (словно губка водой!) обильно насыщались водородом, самым распространенным элементом вселенной.

Водород обладает поразительной способностью растворятся в металлах. Почти любой из металлов может «впитать» количество этого газа, превосходящее его собственный объем в сотни и даже тысячи раз! При этом образуется качественно новое химическое состояние — гидрид.

Так вот, находящиеся в центре Земли, где давления грандиозны, металлы сосуществуют с водородом в виде гидридов. Но у поверхности, где давления слабеют, а температуры еще достаточно высоки (повышение давления способствует образованию гидридов, а рост температуры их разложению), этак на границе ядра Земли и мантии, гидриды разлагаются, выделяется газообразный водород.

И он легко просачивается через мантию к поверхности планеты. (Физикам хорошо известно, что через горячие металлы водород проходит, как вода сквозь сито.)

Многие факты подкрепляют гипотезу Ларина. С ее помощью легко удается объяснить, почему, например, Земля замедляет свое вращение: она расширяется! Выделяющийся водород «раздувает» ее.

Становятся понятны и процессы образования гор, движение материков и многое другое, что исстари волнует и дразнит воображение геофизиков.

Ну а если эта гипотеза неверна, то возможен еще один шанс: что, если природа допустила «промашку» лишь в нашем уголке вселенной? Если не повезло лишь землянам? А в других местах водорода, что называется, «навалом»?

Недавно было выдвинуто предположение (его высказал советский инженер-химик Ф. Назаров), что знаменитый Тунгусский метеорит в основном состоял из... водорода.

Уж сколько гипотез наслоилось вокруг тунгусского пришельца! И инопланетный звездолет, и всякие иные версии. По числу гипотез, пожалуй, только легендарная Атлантида может соперничать с тунгусским дивом. И все эти догадки не выдержали проверки.

Теперь на испытании «водородная» гипотеза. Полагают, что этот гость Земли размерами в несколько сот метров, состоявший в основном из жидкого и частично твердого водорода, врезался в нашу планету со скоростью 10—20 километров в секунду и мгновенно сгорел в атмосферном кислороде. Отсюда и все последствия.

Так что, возможно, есть целые миры, во всяком случае в нашей Галактике, обильные даровым водородом. К тому же и «расфасованным» в самом удобном виде. Вот только как до него добраться?..

Водород против электричества

Человек легко привыкает к удобствам и трудно с ними расстается. Наибольший сервис сейчас дает ему электричество. Еще совсем недавно всюду пропагандировалась идея «дома все на электричестве». Но, возможно, вскоре взгляды могут существенно измениться, и виноват в этом будет водород. Недавно за рубежом в целях рекламы даже построили «дом на водороде».

Тут все на водороде. Освещение осуществляют специальные лампы, в которых фосфорные соединения, вступая в реакцию с водородом, излучают свет. Приготовить пищу можно на газовых плитах, где водород, смешанный с углекислым газом, служит топливом. Необходимую электроэнергию (связь, радио, телевизоры) вырабатывают водородно-воздушные топливные элементы, установленные в доме. Оригинально и отопление: особые пористые панели, насыщенные катализатором, омываются водородом. Окисляясь, он нагревает панель, которая и становится источником тепла. Но отчего водород оказался лучше электроэнергии? Какие резоны? Экономические. Выгоднее на отдельные фермы или коттеджи подавать энергию не в виде электричества, а в виде газа. А уже на месте потребления

электроэнергию (без нее все же совсем обойтись трудно) извлекать из водорода.

Итак, даже электричество, этот всепроникающий источник энергии, может быть потеснено водородом. При передаче электроэнергии по проводам на дальние расстояния потери составляют 20 процентов. Подсчеты показывают: транспортировка водорода по трубам при протяженности линий свыше 500—600 километров (а энерголинии из Сибири в европейскую часть СССР тянутся на многие тысячи километров!) дешевле передачи электроэнергии по проводам ЛЭП в 10 раз! Так не лучше ли использовать электроэнергию прямо на месте ее выработки на электролиз воды? А получающийся при этом водород транспортировать потребителю по трубопроводам и уже там, на месте, сжигать либо в тепловых машинах, либо, что гораздо выгоднее (вспомним про КПД!), в топливных элементах.

Так возникают контуры водородной энергетики.

Возможно, уже в недалеком будущем в обиход войдет не слишком благозвучное слово «водородопровод». По крайней мере, в ФРГ и США уже построены магистрали длиной в сотни километров.

Но электричество и водород не обязательно должны быть непримиримыми конкурентами. Они, оказывается, прекрасно дополняют друг друга.

Когда в Москве вечером разом выключаются миллионы телевизоров и заканчивают работу многие предприятия, потребление электроэнергии из городской сети сразу резко уменьшается. При чем тут водород? А при том, что электричество, поступающее непрерывно и требующее непрерывного же потребления, можно в это время заставить, скажем, в процессе того же электролиза разлагать воду на водород и кислород.

Тогда ранним утром, когда начинается рабочий день на фабриках и заводах и резко подскакивает потребность в энергии, накопленный за ночь водород можно было бы влить в общий энергетический поток.

Так, водород помог бы в борьбе с одной из тяжелых и хронических болезней крупных энергосистем — неравномерностью нагрузки.

Могут возразить: водород пока еще довольно дорог. Да, это верно. Однако тенденции тут таковы. Исчерпание нефтяных месторождений ведет к росту цен на бензин, а со временем и просто к его нехватке.

В то же время цены на водород будут неуклонно снижаться с ростом масштабов его производства и с удешевлением электроэнергии. И тот водород, который сейчас значительно дороже бензина, со временем может стать дешевле его.

Когда цены сравняются, наступит эра автомобиля, работающего на водородном топливе.

«Водородная энергетика», о ней много говорят сейчас. В марте 1976 года в Майами-Бич (США) состоялась первая Международная конференция по водородной энергетике и технологии. Она шла под девизом «Мост в водородное будущее».

Хранение с выгодой

О похвальных свойствах водорода люди догадывались давно. Еще в 1820 году в Кембриджском философском обществе обсуждался доклад «Об использовании водорода в качестве топлива для движущихся машин.

В 1927 году фирма «Цеппелин» выпустила двигатели, работавшие на водородном топливе. В 1968 году в Институте теоретической и прикладной механики Сибирского отделения Академии наук СССР проводились испытания двигателей ГАЗ-652 на водородном горючем.

В 1972 году в США происходил межуниверситетский конкурс на лучшую конструкцию городского автомобиля. Первое место занял автомобиль на водороде.

А вот и» совсем свежие (1980 г.) новости. В Харькове появилась первая «водородная колонка». Харьковчанин сел в обычное такси, проехал весь город, не догадываясь, что двигатель этой машины работает не на чистом бензине, а на его смеси с водородом. Только водород попадает не в бак, а в специальный «аккумулятор», где немедленно «связывается» металлическим порошком, который прочно удерживает газ и делает его абсолютно взрывобезопасным. Во время движения авто водород в строгой дозировке, контролируемой приборами, вместе с бензином подается в камеру сгорания двигателя. Это позволяет более чем на одну треть сократить расход бензина и резко снизить содержание вредных веществ в выхлопных газах.

Новинка разработана учеными Института проблем машиностроения Академии наук Украины и Харьковского автодорожного института.

Ну же! Казалось бы, еще один миг — и водород получит окончательную прописку в транспорте.

Что мешает тому, чтобы водород стал топливом для «безлошадных карет», заменил дорожающий бензин? Какие возражения выдвигают противники водорода?

Ну, первое: не опасно ли разъезжать на водородо-мобиле? Ведь водород взрывоопасен!

Еще со времен школьных опытов в химическом кабинете мы помним эффектные взрывы гремучего газа. Да, на всех предприятиях, где в ходу водород, обязательно встретишь надпись: «Курить воспрещается!»

Но и спички опасны, особенно при неумелом обращении. И смесь паров бензина с

воздухом взрывается ничуть не хуже смеси водорода с воздухом.

А такие «взрывы» происходят в автомобиле по многу раз в секунду! Короче, признано: употребление водорода не более опасно, чем использование обычного светильного газа.

Вот более весомое возражение. Водород имеет очень низкую плотность и занимает большой объем. Для уменьшения объема его необходимо подвергнуть сжижению при очень низкой температуре (минус 252 градуса по Цельсию) и при высоком давлении. Уже одна эта операция требует большого расхода энергии. Но даже в сжиженном состоянии водород имеет плотность в три-четыре раза меньшую, чем плотность нефти. Следовательно, при их равной массе для водорода требуются куда более вместительные резервуары.

Еще одна существенная трудность: как хранить водород? Для хранения 20 килограммов жидкого водорода под давлением 200 атмосфер необходим бронированный резервуар размером с автомобиль и весящий около тонны.

Если бы водород не обладал высокой энергетической отдачей, выбор давно пал бы на синтетические виды горючего, получаемые из угля. Но, к счастью, в последние годы появились новые, очень перспективные методы хранения водорода. Так, в частности, используется размельченный, с очень высокой удельной поверхностью сплав — «металлический гидрид». Он действует как губка, поглощающая большие порции водорода. Баки, заполненные гидридом, вмещают в 40 раз больше водорода, чем баки, заполненные только газом.

Самое любопытное то, что новая технологическая схема позволяет не только хранить в твердом состоянии вещество, слишком взрывоопасное в газообразном состоянии, но и получать при переводе водорода из газообразного состояния в твердое тепловую энергию.

Принцип таков: резервуар снабжен системой трубок, внутри которых находятся очень мелкие, порядка нескольких микрон, частицы сплава титана и железа. Когда водород попадает под давлением в эти трубки, он контактирует с частицами, в результате чего происходит образование водородных соединений.

При этой химической реакции выделяется тепло, его можно использовать, например, для отопления помещений. Когда же нужно извлечь водород из резервуара, достаточно только подать тепло к водородным соединениям.

Эта часть процесса сопровождается выделением холода, который также может быть использован, например, для кондиционирования воздуха. А для высвобождения водорода достаточно через водородные соединения пропустить выхлопные газы двигателя или водяной пар, то становится понятным: такой метод хранения водородного топлива очень эффективен.

Водородные щедроты атома

Водород нужен не только автомобилю, но и самолетам. Недавно представители авиационной компании «Локхид» сделали заявление: в конце 1985 года, обещают они, четыре грузовых самолета «тристар», работающие на жидком водороде, начнут регулярные полеты.

Поживем, как говорится, увидим. Может, это просто рекламный трюк. Но вот промышленности (металлургии, скажем, водород нужен для прямого восстановления руд), особенно химической (половина производимого в мире водорода идет на выработку аммиака — основы удобрений; водород нужен и для создания высокооктанового бензина, и для гидрогенизации жиров), водород нужен во всевозрастающих дозах.

В 1970 году было произведено $1{,}8\cdot10^7$ тонн водорода!

Еще одна область, где водород может найти широкое применение, — это получение кормов для скота. Уже в прошлом столетии были открыты водородоокисляющие бактерии, биомасса которых при поглощении водорода удваивается за несколько часов. «Водородные» бактерии содержат 50—75 процентов белка. Этой биомассой можно кормить скот.

В Академии наук Молдавии создана опытно-промышленная установка для получения «водородных» бактерий. Уже подсчитано, что реактор тепловой мощностью в 2 миллиона киловатт мог бы «произвести» пищу (мясо) для миллиона жителей планеты.

Водородная энергетика очень нужна Она вступила бы в жизнь уже сегодня, если бы ученые располагали ответом на главный вопрос: как получить водород? Трудно сказать, когда водород начнут «качать», словно нефть, из недр Земли (вспомним гипотезу Ларина!). Пока же давайте обсудим возможности чисто земные, реальные, то, чем мы располагаем сейчас.

Способы получения водорода есть, их немало, но они, помимо всего прочего, должны быть экономически выгодны. Ведь, к примеру, при электролизе воды 85 процентов энергии электричества теряется напрасно и только 15 процентов материализуется в виде водорода. Поэтому подобные способы производства водорода человечеству пока еще не по карману.

Но водород очень нужен, и его получают из углеводородов нефти и газа, из угля (через кокс при температуре 1100 градусов Цельсия пропускается водяной пар) или же электролизом.

Увы, все эти операции либо дорогостоящи, либо поглощают энергии больше, чем дают. Кроме того, исключая электролиз, процессы сопровождаются тратой невосполнимой органики.

Нет! Водородная энергетика наберет силу только тогда, когда водород будут получать, во-первых, из воды (ее запасы в морях и океанах доступны и преизобильны), а, во-вторых, источник энергии будет даровым.

И тут исследователи возлагают большие надежды на атом.

Действительно, КПД атомной станции, если исходить из того, сколько энергии урана израсходовано и сколько энергии получено в виде электрического тока, составит всего 30—32 процента. Остальное уходит в бесполезное тепло. Но этот минус, оказывается, можно обратить в плюс!

Заставить тепло нарабатывать водород — вот идея' Ученые предложили уже множество схем — термохимических реакций, которые циклически повторяются, возвращаясь к исходному состоянию. (Значит, производство можно оформить в замкнутый, экологически чистый цикл!)

Грубо говоря, схема такова. В совокупность связанных меж собой химических аппаратов подаются вода и тепло от атомного реактора. Это то, что входит, выходят же по трубопроводам водород и кислород.

Сейчас в мире запатентованы уже многие десятки термохимических циклов, которые порой носят звучные имена: «Марк», «Агнесса», «Екатерина» и так далее.

Работы в этом направлении ведутся в СССР, США, Италии, Голландии, ФРГ, Англии, Японии. Уж больно заманчиво использовать бросовое тепло ядерных реакторов. Ведь КПД такой ядерно-водородной станции (ЯВС) теоретически может быть не 30 процентов, как у АЭС, а 70 и выше!

Даже с учетом собственных энергетических нужд ЯВС ее КПД будет равным 50—56 процентам. Таких показателей не имеет ни одна тепловая электрическая станция!

Не исключено сочетание ЯВС с комплексом металлургических или химических заводов. Если же образующиеся водород и кислород направлять в топливные элементы, то станция будет вырабатывать только электрический ток. Эту энергию можно направить на разложение морской воды, на извлечение из нее урана, брома, калия и других ценнейших веществ. Конечно, пока это только один из возможных проектов, базирующихся на водородной основе. Есть и другие.

Согласно прогнозам американских ученых по мере истощения запасов природного топлива человечество вступит в атомно-электрохимическую эру. Гигантские атомные электростанции на берегах океана будут давать электроэнергию Она пойдет на разложение морской воды на водород и кислород. (Электролизом! Этот процесс совершенствуется с каждым годом, становится все более эффективным и дешевым.)

Топливо будущего — водород будет пересылаться по трубам к местам потребления, заменяя природный газ и нефть.

Другой вариант той же картины — разложение воды за счет солнечной энергии, ведущей все к той же водородной энергетике.

Вот проект, детальные расчеты для которого сделаны в ФРГ. Солнечное тепло нагревает черные пластины до 120 градусов. Термоэлементы генерируют ток, используя перепад температур между этими пластинами и морской водой.

Электроэнергия идет на электролиз воды, дающий водород. Подобная электрохимическая гелиостанция площадью в 920 квадратных километров, расположенная на широте Гибралтара, обеспечила бы почти все потребности ФРГ в электроэнергии.

Энергетические поля

Везде, где можно, планета подставляет солнцу комочки, пластинки или пласты зеленого пигмента растений. Этот краситель (хлорофилл) жадно поглощает свет, давая начало все еще таинственному процессу — фотосинтезу.

Самое удивительное для нас тут то, что в каждом крохотном растеньице солнечные лучи разлагают воду на водород и кислород. Кислород очищает атмосферу, а водород в темновых процессах (уже без участия света) в недрах зеленого листа, соединившись с углекислым газом воздуха, превращается в углеводы, то есть то, что позднее может стать углем или нефтью — источниками химической энергии.

Отчего же не воспользоваться подсказкой природы? Как, следуя примеру растений, повенчать водородную энергетику с даровой энергией солнца?

Очевидно, необходим новый взгляд на вещи. Иная точка зрения. Ее в последние годы неустанно пропагандирует академик Н. Семенов.

Каждая клетка, по его мнению, представляет миниатюрный химико-энергетический завод со множеством специальных «цехов». Природа устроила его с таким совершенством, к которому мы на наших заводах еще только стремимся. И на первый взгляд кажется, что использовать такой сложный механизм нереально.

Но вот тут-то и кроется ошибка. Дело в том, что в живом организме все взаимосвязано. И каждый элемент в той же клетке действует, так сказать, с оглядкой (обратные связи)

на другие «узлы».

Но если мы захотим вне организма осуществить какую-либо одну функцию, например, получить определенное вещество, которое синтезируется в организме, то задача может значительно упроститься.

Не копируя природу, но используя некоторые ее принципы, человек сможет со временем в гораздо более простом виде реализовать любой химический процесс, идущий в живых системах. И тогда химическая технология претерпит подлинную революцию.

Этот новый подход к вещам академик Н. Семенов назвал химической бионикой. Одна из первоочередных ее задач — фоторазложение воды в целях получения ценнейшего топлива — водорода. И сделать это хотелось бы методами, схожими с теми, которыми пользуются растения. Ибо природа решает свои задачи с удивительным изяществом.

Процесс фотосинтеза успешно идет в хлоропластах — крохотных, микронных размеров, органеллах, нафаршированных хлорофиллом и расположенных в каждой клетке листьев растений.

Сложны процессы фотосинтеза. В растениях роль активного центра катализатора выделения кислорода, вероятно, играют ионы марганца, образующие четырехъядерный кластер. Он и служит своеобразным «переключающим» устройством между одноэлектронным актом разделения зарядов в хлорофилле, происходящим под действием света, и четырехэлектронным процессом образования кислорода из воды. В этом один из ключевых пунктов проблемы. Сейчас ученые во многих странах пытаются искусственно воспроизвести эту реакцию. Возможно, вместо марганца придется употребить железо или рутений.

Мы не будем углубляться в дебри трудностей, встающих перед учеными, занимающимися химической бионикой. Трудностей, мешающих решить проблему «искусственного фотосинтеза». Но, допустим, фотолиз воды, идущий в растениях, будет успешно продублирован. Что тогда? Тогда большие пластмассовые кассеты, содержащие водный раствор исходных веществ, расположатся на огромных пространствах энергетических полей. Под действием солнечной энергии в кассетах будут образовываться богатые химической энергией продукты реакции. Эти растворы, медленно циркулируя, попадут на соответствующие подстанции, где из них будут извлекать богатые энергией конечные продукты и добавлять исходные...

Выращивание... нефти!

Фантазии Природы, ее остроумные находки, отлитые в стройный механизм фотосинтеза, поистине неисчерпаемы. Многие возможности растений только начинают становиться предметом исследований.

Растения из углекислоты, света и воды «ткут» углеводы, но отчего не углеводороды? Соединения, состоящие только из атомов углерода и водорода (об этом свидетельствует и само их название). Из углеводородов в основном соткана и нефть. И вот ученые задумались: а нельзя ли подыскать растения, так сказать, углеводородоносы?

Есть такой пример, вспомнили ученые, Гевея, знаменитый бразильский каучуконос, дерево, млечный сок которого (латекс) является готовым углеводородом.

Одно из наиболее замечательных достижений XX века — получение синтетического каучука. Впервые этот синтез был осуществлен в СССР в 1932 году по способу, разработанному академиком С. Лебедевым.

Производство синтетического каучука (его готовят из продуктов, получающихся при переработке нефти — бутадиена, изопрена, стирола) росло столь стремительно, что после окончания второй мировой войны плантации гевеи почти полностью утеряли свое значение в поставке этого ценного сырья. Но повышение цен на нефть на мировом рынке более чем в четыре раза снова заставило пересмотреть экономические показатели синтетического каучука. Преимущества вдруг обратились в недостатки: ведь на производство одной тонны этого продукта в среднем расходуется три с половиной тонны нефти!

Другая проблема — ужесточение законодательства об охране окружающей среды: высокие затраты на очистные сооружения делают синтетический каучук еще дороже. И конкуренция между натуральным и синтетическим каучуком вновь резко обострилась. Так, американские шинные компании «Гудьир» и «Файрстон» начали в спешном порядке расширять плантации каучуконосов в Либерии и странах Латинской Америки. (Кстати, основной экспортер природного каучука сейчас не Бразилия, а Малайзия — свыше 40 процентов мирового производства — и Индонезия.)

Если можно выращивать каучук, так сказать, «живую резину», то, взглянув на дело глазами профана, уместно поставить и такой вопрос: а нельзя ли выращивать и нефть или какие-то вещества типа нефти или бензина, которые бы стали такими же естественными продуктами фотосинтеза, как глюкоза, жиры и белки?

В самом деле: ведь умеют же растения вырабатывать углеводороды, и высокого качества! В латексе гевеи углеводородные цепочки более длинные, чем в нефти, беда только в том, что они на две трети разбавлены водой.

Итак, почему бы не подыскать растения, непосредственно производящие нефтепродукты? Фантазии? Ан нет! Мысль о растущей нефти выдвинул не профан, а видный ученый, специалист по фотосинтезу, неутомимый пропагандист его возможностей — американский

ученый М. Кальвин.

Вдохновленный этой новой идеей, Кальвин, что называется, засучил рукава и принялся за дело. В серии многочисленных опытов он доказал, что густой белый сок, выделяемый рядом тропических деревьев, представляет собой, по существу, легкий углеводород, из которого можно получать жидкую нефть, если удалить воду из эмульсии. Этот сок может стать превосходным сырьем для изготовления высококачественного бензина.

А добывают сок просто из надрезов на коре деревьев. При этом древесина, естественно, не повреждается и может при необходимости быть использована в строительстве или для производства бумаги. Где же растут эти чудо-деревья? Во многих областях земного шара: в Бразилии, Индонезии, Африке.

Эти растения семейства молочаевых Кальвин обнаружил и у себя в Калифорнии. И сейчас он пытается заняться их разведением.

Чтобы убедить скептиков, Кальвин устроил демонстрационный пробег. Используя бензин, полученный им в лаборатории из сока бразильских деревьев, он около ста километров колесил по дорогам Америки.

Экономические расчеты, произведенные ученым, показывают, что себестоимость барреля такой нефти составляет 20 долларов при получении 10 баррелей с гектара в год. Однако если отдача с гектара возрастет до 20 или 30 баррелей в год, то себестоимость нефти снижается соответственно до 15 и даже до 10 долларов за баррель. Для сравнения: в марте 1978 года (сейчас цены еще поднялись) за один баррель нефти, ввозимой в США, платили по 15 долларов.

«За десять лет нам удалось в пять раз увеличить производство, — заявил недавно Кальвин, — и я считаю, что, когда добьемся выведения лучших сортов, половину земель штата Аризона можно будет засевать «нефтеносными» растениями. Двадцать миллионов гектаров, которые в настоящее время пустуют, могут давать столько нефти, что легко обеспечат 10 процентов потребности США в жидком топливе».

Теперь у профессора Кальвина появились и последователи, например, агроном из Франции Сан де Пер-сево. Он намеревается культивировать бразильские деревья и уже подсчитал, что каждый год с одного гектара плантации сможет получать железнодорожную цистерну жидкого топлива.

Добавим еще одну немаловажную подробность — при сгорании растительная нефть не загрязняет окружающую среду двуокисью серы или какими-либо другими токсичными компонентами.

И еще одно: из нефтяного сока уже вырабатывают смазочные материалы для моторов самолетов и точных машин, а также защитные средства против обледенения.

Проект «Фотоводород»

Предыдущий рассказ о гевее и растениях рода молочаевых, как надеется автор, укрепил веру читателя в то, что растения способны на многое. И даже на производство... водорода!

В 1942 году американский исследователь Г. Гаффрон обнаружил, что сине-зеленые водоросли (рекордсмены среди растений по длительности существования на Земле — 3 миллиарда лет!), помещенные в искусственную атмосферу из инертного газа (без углекислоты и кислорода воздуха), начинают под действием света выделять вовсе не кислород, а водород.

Как же так? Мы привыкли, что растения выделяют кислород, которым дышит все живое, а тут...

В поисках ответа на этот вопрос наука еще не пришла к единому мнению. Но, видимо, накопившиеся в результате разложения воды излишки водорода (напоминаем, что в естественных условиях этот водород соединяется с углекислотой воздуха) требуют выхода, удаления. И водоросли «извергают» их.

Водородный цех может работать не только в сине-зеленых водорослях, но и в некоторых видах фотосинтезирующих бактерий. А также в искусственных системах, содержащих выделенные из растений хлоропласты.

Ну чем не фантастика! Не надо копировать тончайшие процессы разложения воды (химическая бионика), а сразу получать уже готовый водород.

Брать от растений не только плоды или клубни, но и топливо. Однако не в виде дров, как встарь, а по-иному — остановить фотосинтез на стадии разложения воды и вывести водород из недр растений (или водорослей, или бактерий) до того, как он будет израсходован на восстановление углекислоты воздуха.

Подобные исследования были начаты во многих странах. В нашей стране возник проект «Фотоводород», объединяющий многие организации.

Его совместно осуществляют находящийся в подмосковном городе Пущино Институт фотосинтеза Академии наук СССР, химический и биологический факультеты Московского государственного университета и другие научные коллективы.

Конечная цель проекта «Фотоводород» — подобрать биологические системы, которые бы использовали солнечную энергию для извлечения из воды не только кислорода, но и водорода.

Вновь не будем углубляться в научные тонкости, а обрисуем лишь контуры. Наиболее развит аппарат фотосинтеза у высших растений. Но заставить работать высокоразвитые создания так, как это надо нам, совсем не просто. Поэтому выбрали обходный путь — модельные системы.

Решили разрушить клетки растений, выделить хлоропласты — органеллы, в которых идет фотосинтез, в чистом виде и поместить их в специально приготовленный раствор — среду, удобную для их функционирования.

В помощь хлоропластам приданы еще два необходимых компонента: ферредоксин — «профессиональный» переносчик электронов, образующихся при поглощении хлорофиллом квантов света, и гидрогеназу — биологический катализатор, способствующий быстрейшему выделению водорода.

Первая установка такого типа была создана в 1973 году в США. Она давала 15 микролитров водорода на миллиграмм хлорофилла и работала всего четверть часа. Дело в том, что ее составляющие части — ферредоксин и гидрогеназа — оказались очень нестойкими.

Тогда за дело взялись совместно советские и английские ученые (работники Института фотосинтеза в Пущине сотрудничали с лабораторией Лондонского университета, которой руководил профессор Дэвид Холл). Их установка выделяла уже литр водорода в час на грамм хлорофилла и работала 6 часов. Ученые сумели найти правильное соотношение частей, подобрали стойкие к окислению ферменты. Но через шесть часов погибает хлоропласт!

И в естественных условиях «срок службы» хлоро-пластов и молекул хлорофилла недолог. Но живая клетка непрерывно заменяет выбывшие из строя «детали» новыми — идет непрерывная регенерация рабочих частей.

Обновляется и состав хлорофиллов. И даже хлоропластов, крошечных фабричек фотосинтеза. А в искусственной системе этого нет. Поэтому здесь задача — постараться превзойти природу, сделать хлоропласта долгожителями, которые и с возрастом не теряли бы своих рабочих качеств.

Ученые многих стран мира пытаются продлить жизнь всех трех главнейших элементов: хлоропластов, ферре-доксина и гидрогеназы. Это один путь. Но есть и другой. Можно заменить живые элементы системы их синтетическими аналогами.

Работа ведется в обоих направлениях. Химики стараются подыскать или создать подходящие аналоги, а биологи — повысить стойкость живых участников реакции.

Гидрогеназа, например, встроенная в твердую матрицу (стекло или сажа), работает со 100-процентной эффективностью. И уже не минуты, даже не часы, а год!

Кто выиграет в этом соревновании, сказать трудно. Системы могут быть и «живые», и синтетические, и комбинированные.

Будущее проблемы «Фотоводород», как и всякой фундаментальной проблемы, предсказать трудно. Но вот что пишет большой энтузиаст этого дела, один из создателей проекта «Фотоводород», декан химического факультета МГУ, член-корреспондент Академии наук СССР И. Березин:

«Представим себе, что водородные реакторы установлены где-нибудь в пустыне, где солнце светит почти весь год. Тогда за день с квадратного метра поверхности удастся добывать 9 молей водорода — 18 граммов, или 18 тонн с квадратного километра. Расчет показывает, что абсолютно все энергетические нужды нашей страны может удовлетворить урожай водорода, снимаемый с участка пустыни размером 140 X 140 километров...»

Водородные плантации— мечта, явь? Фантастика, дерзко врывающаяся в мир обыденности?

Но, право, ее здесь, может быть, не больше, чем в ныне горячо обсуждающихся проектах заселения космоса, в путях практической реализации термоядерных электростанций и во многих других еще вчера казавшихся нереальных дерзаниях.

Опыты по искусственному воспроизведению фотосинтеза с попыткой получить столь ценный для человека водород знаменательны. Ведь все мы путешествуем на огромном космическом корабле, имя которому Земля. Здесь мы уподобляемся космонавтам, живущим в замкнутом цикле воспроизводства всех необходимых веществ — кислорода, пищи, воды, энергии. Продублировав фотосинтез, поставив себе на службу водород, мы станем обладателями экологически чистой энергии. Овладев искусственным фотосинтезом и создав водородную энергетику, человек сдаст экзамен на зрелость и будет способен выйти в открытый космос, как когда-то вышли из океана и расселились на суше наши далекие биологические предки.

ГЛАВА 9

ГЕЛИОСТАНЦИИ НА ОРБИТЕ

Человечество не останется вечно на Земле, но в погоне за светом и пространством сначала робко проникнет за пределы атмосферы, а затем завоюет себе околосолнечное пространство.

К. Циолковский

В 1926 году в Калуге отдельной брошюрой вышла работа К. Циолковского «Исследование мировых пространств реактивными приборами». Брошюра вызвала горячие споры: шутка ли, ученый всерьез говорил о возможности жизни вне Земли!

Более того, он приводил расчеты и выкладки своих проектов! И фантастичней всего содержание последней части брошюры, озаглавленной «План работ, начиная с ближайшего времени», где под пунктом десять значилось: «Вокруг Земли устраиваются обширные поселения».

В этой работе, а также в книге «Жизнь в межзвездной среде» ученый подробно описал принцип, структуру и конструкцию таких поселений.

Прошло полстолетия. Стремительное развитие науки и техники превращает сегодня мечты К. Циолковского в конкретные проекты и планы.

Космические города

Телефон звонил непрерывно: просили интервью для радио, телевидения; редакторы журналов умоляли написать статью; солидные издательства предлагали выгодные контракты (книга, конечно же, должна была стать бестселлером!). И бесчисленные заявки на лекции, выступления, доклады, встречи...

Так сорокашестилетний профессор Принстонского университета (США) Джеральд О'Нил, прежде хорошо известный своими работами в области физики высоких энергий, стал героем дня, кумиром для своих многочисленных последователей и сторонников. Колонизация космоса, немедленная, массовая, — вот девиз этих людей.

Все началось с полушуточных подсчетов на семинаре для дюжины способных студентов, изучавших курс физики. Случайно первая из намеченных профессором тем была следующей: «Является ли поверхность нашей планеты наилучшим местом обитания для высокоразвитой цивилизации?»

Вначале казалось, что безжалостные цифры зарежут «на корню» идею больших космических станций, предназначенных для обитания человека. Однако этого не случилось. Так постепенно в спорах, размышлениях и подсчетах вызревал проект создания гигантских поселений между Землей и Луной.

Затем последовали годы безуспешных попыток опубликовать работу. И лишь в 1974 году «Проект Л-5» получил широкое признание и поддержку. (Л-5 — точка либрации, через нее проходит орбита, стабильность которой обеспечивается совместным действием притяжения Земли, Солнца и Луны. Космический поселок, построенный здесь, не будет «плавать», а навечно останется висеть над определенной точкой Земли.)

Отличительная черта предложения О'Нила в том, что проект ориентирован не на элиту, не на специально подготовленных космонавтов, а на массы. Ведь даже самое маленькое (начальное) поселение, по мысли О'Нила, рассчитано на 10 тысяч мужчин и женщин. Главные критерии при отборе космических поселенцев — молодость, отличное здоровье и умение быть хорошим специалистом.

Призыв покорить космос, жить на внутренней поверхности быстро вращающегося гигантского цилиндра, где вздымаются горы, текут реки, льют искусственные дожди, растут деревья и трава, щебечут птицы; купаться в солнечных лучах, собранных огромными зеркалами; жить в мире изобилия энергии, мире, свободном от загрязнений, которые несет технология, — эта картина не может не покорить молодые сердца. Студенчество Америки, естественно, наиболее горячо приветствует «Проект Л-5».

Но мысли О'Нила нашли сторонников и в научных кругах. В 1977 году группа из тридцати американских ученых детально обсудила возможности этого проекта. Результаты опубликованы в документе Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) — «Космическая колонизация — проектное исследование». Это уже достаточно серьезный аргумент, который заставляет внимательнее отнестись к словам О'Нила: «К 2074 году более 90 процентов человечества будет жить в космосе, в условиях неограниченных ресурсов чистой энергии, изобилия пищевых и материальных средств, полной свободы передвижения. Земля превратится в огромный парк, свободный от индустрии, медленно и естественно восстанавливающий свои силы после смертельных ударов, нанесенных ей индустриальной революцией. Она станет прекрасным местом отдыха, где можно будет провести отпуск или каникулы...»

Мы не будем обсуждать технические стороны проекта О'Нила (основным сырьем для

строительства, видимо, будет лунный грунт), предположительные даты, а лучше побываем (мысленно, конечно!) в одном из таких космических городов.

По просьбе редакции американского журнала «Нэшнл джиогрэфик» в космическом поселении № 1 «побывал» известный ученый и писатель-фантаст Айзек Азимов. Читатели журнала получили редкое удовольствие познакомиться с мельчайшими деталями жизни в космосе.

Если исключить ностальгию, то, судя по описаниям Азимова, жизнь там гораздо комфортабельнее, чем на Земле. Мягкий климат (день и ночь, зима и лето могут быть по желанию имитированы простым регулированием положения солнечных зеркал), отсутствие индустриальных выбросов (не только промышленные, но и сельскохозяйственные предприятия вынесены за пределы колонии, кроме того, все производства работают по замкнутому циклу, без отбросов), отсутствие автомобилей (космияне передвигаются на лифтах и на велосипедах), рационально сконструированный ландшафт и даже возможность заниматься всеми земными видами спорта (катание на лыжах, парусный спорт, альпинизм, планеризм).

Однако жители космических городов будут не только отдыхать и развлекаться, но и трудиться. Выращивать в вакууме громадные кристаллы-полупроводники, получать сверхчистые металлы, собирать микроминиатюрные схемы, которые на Земле столь необходимы для производства компьютеров.

В космических колониях разместятся многочисленные научные лаборатории. Тут можно будет организовать больницы для лечения болезней сердца — в условиях невесомости или низкого тяготения сердце работает с намного меньшей нагрузкой. Расположенные вблизи поселений Л-5 грандиозные (десятки километров в поперечнике) солнечные электростанции будут вырабатывать и посылать на Землю энергию. И тогда, по мнению Азимова, слова «энергетический кризис» быстро станут анахронизмом...

Космический дом Валерия Рюмина

Трудно сказать, насколько быстро и успешно пойдет в США строительство космических городов. Но космический «дом» на околоземной орбите уже существует. Четвертый год подряд работает орбитальная научная станция «Салют-6». За это время на ее борту трудились 27 (!) космонавтов. Девять раз стартовали с Байконура корабли, управляемые интернациональными экипажами. Двенадцать «Прогрессов» доставили на орбиту более 25 тонн различных грузов. Такой напряженной деятельности, такого активного долголетия не знала ни одна орбитальная станция в мире.

Вот уже представитель десятой социалистической страны — Румынии — побывал на орбите, и эта страна стала, таким образом, одиннадцатой космической державой мира. Иностранные журналисты, ревниво следящие за космическими успехами социалистических стран, в свое время писали: «В космическом состязании счет стал 8 : 1 в пользу русских». Они писали и о том, что космическое сотрудничество СССР расширяется: к новым запускам в рамках программы «Интеркосмос» готовились тогда монгольский и румынский космонавты. А первыми представителями Запада в совместных полетах станут в 1982 году французы. Их кандидаты проходят сейчас интенсивную подготовку в Звездном городке. Длительные пилотируемые и совместные полеты (уникальный эксперимент) продемонстрировали отличные эксплуатационные качества и высокую надежность отечественной космической техники.

Отмечали иностранные журналисты и следующий факт. На конец сентября 1980 года советские космонавты налетали ровно вдвое больше часов, чем их американские коллеги.

Рекорды, рекорды! Они следуют один за другим. 11 октября 1980 года завершился самый длительный в истории космонавтики пилотируемый полет. 185 суток находились на борту орбитальной станции «Салют-6» советские космонавты Леонид Попов и Валерий Рюмин. На их счету больше «космических часов», чем у всех вместе взятых космонавтов, побывавших на орбите до 1975 года! Особенно знаменит в этом отношении В. Рюмин. Ведь он совсем недавно вернулся из тоже рекордного 175-суточного (совместно с Владимиром Ляховым) полета и почти тут же отправился в новую космическую «командировку». За свою космическую «службу» он в общей сложности налетал 362 дня — почти целый год! Пресса социалистических стран даже окрестила жилой отсек «Салюта-6» «дачей Рюмина».

Знаменательно, что после 175-суточного полета, после столь долгой жизни в условиях невесомости, В. Рюмин уже на второй день начал прогулки. И это было результатом большой работы, которую советские ученые и медики провели для того, чтобы в конечном итоге сделать космос обитаемым для человека. А ведь там его подстерегает множество опасностей: тут и физиологическая реакция, вызванная влиянием невесомости на кровообращение, и декальцификация костей, и нарушение чувства равновесия, и психологические проблемы совместимости экипажей, и многое другое.

Жизнь в космосе — это напряженная борьба и работа, работа! Л. Попов и В. Рюмин с первого дня пребывания на орбите уже начали готовиться к будущей встрече с земной тяжестью. Каждый день они несколько километров проходили по бегущей дорожке, крутили педали велоэргометра, износили не один комплект нагрузочных костюмов, резиновые тяжи которых не дают мышцам расслабиться.

А работа? За 185 космических дней они провели более 250 экспериментов, имеющих важное значение для развития науки и народного хозяйства всех стран, участвующих в осуществлении программы «Интеркосмос». И цена этой работы известна. Как подсчитали советские специалисты, за пять минут фотосъемки с борта станции проделывается такой же объем работы, как за два года фотосъемок с самолета или за пять лет сбора информации на Земле.

Космический дом. Это может быть и временное пристанище, так сказать, «космическая гостиница» одноразового пользования, и место, куда возвращаешься вновь и вновь, как к себе домой. Советские специалисты, испытав системы станций «Салют», трудятся над созданием нового поколения орбитальных станций. Теперь они будут возводиться по модульному принципу. К основному блоку, оснащенному несколькими причалами, будут пристыковываться специализированные модули — один для астрономических наблюдений, другой для технологических опытов, третий для фотографирования. Для питания и отдыха космонавтов, для возвращения на Землю, для научных исследований и так далее. И возникнет на земной орбите уже не лаборатория — целый институт! Но важнее тут, может быть, то, что станция, устроенная по принципу модульности, станет практически вечной. Это и будет первый космический поселок землян.

Земля или космос!

Человек становится космиянином. В быт миллионов людей вошли космические системы связи; с вводом в строй метеорологических комплексов повысилась точность прогнозов погоды: вступают в эксплуатацию морские и аэронавигационные системы, использующие искусственные спутники. С космической высоты исследуются природные ресурсы Земли. И все же пока человек делал вылазки в космос, руководствуясь скорее любопытством, нежели необходимостью. Но, возможно, скоро он отправится туда, чтобы принести на Землю хотя бы крупицы из несметных богатств космоса. Одно из них — энергия солнечных лучей. Мощность солнца грандиозна. Бесплатный, обильный поток. Отчего же человек не «купается» в этом океане энергии?

Причин немало, главное — средняя плотность потока солнечной радиации на поверхности Земли обидно мала. Собрать солнечный урожай не так-то просто! Чтобы обеспечить энергией город с населением в 100 тысяч человек, нужны солнечные коллекторы общей площадью в 5 X 5 километров. Подобная установка заняла бы всю территорию такого города!

Конечно же, есть пустыни — обильные солнцем и бросовыми землями. Но тогда возникает дополнительная проблема — передача (а как тут обойтись без больших потерь?) энергии в те же города. Естественно поэтому: источники энергии жмутся к городам, поближе к потребителю. Можно, к примеру, хитроумно разместить солнечные коллекторы вдоль густой сети шоссейных и железных дорог. Так, чтобы они при этом не мешали сельскохозяйственным угодьям. И вот земной шар уже покрыт «кольчугой» из фотоэлементов. Люди, их постройки загнаны под землю. Стеснены. Но выход ли это из положения? Когда-то Дон-Кихот сражался с ветряными мельницами: его объявили сумасшедшим. А ведь старик был отчасти прав! Совсем недавно экономисты частично его реабилитировали. (Так же, как в 1980 году Ватикан вдруг публично покаялся: Галилей, оказывается, был осужден невинно, ошибочка произошла, видите ли!)

Ученые поставили вопрос: опасна ли ветряная, солнечная, геотермальная энергетика? Чепуха, скажет читатель, как могут быть опасными эти вроде бы экологически стерильные источники? Вот атом, с его радиоактивными отходами... А ведь дело спорное! Энергия солнца или ветра в своем первозданном виде рассеяна, не-концентрирована. Она требует громоздких и сложных устройств. В уране же или угле энергия, так сказать, сконденсирована. И чтобы освободить ее, необходимо гораздо меньше стали, бетона и других материалов. Вот исследователи и занялись подсчетом. Оказалось: по материалоемкости хуже всего обстоит дело у ветростанций (помянем Дон-Кихота!), а по затратам труда на каждый мегаватт не столь почетное первенство держат солнечные батареи.

Можно судить энергетику и по другим показателям. Всякое дело чревато риском: и оступиться можно, и буквально голову сломать. Так вот: если оценивать энергетику потерянными человеко-днями, то в лидеры тут выйдут уголь и нефть. И совсем недалеко от них окажется энергетика солнечная. Так что солнечная энергетика не так чиста, как кажется.

Но есть место, где царит вечное лето, где солнце сияет постоянно и щедро, где нет атмосферы, ослабляющей солнечные лучи, нет дня и ночи. Там можно использовать солнце, так сказать, на полную катушку, на все 100 процентов. Где расположен этот рай гелиотехников? Конечно же, в космосе!

Правда, космос тоже бывает разный. Для наших целей лучше всего выбрать так называемую геостационарную орбиту, удаленную от Земли на 35 800 километров. Ее период обращения ровно 24 часа, сутки! Тут предметы как бы зависают над Землей, стынут в недвижности.

Геостационарные или геосинхронные орбиты уже освоены: тут давно прижились трансляционные спутники связи. Сюда удобно поместить и гелиоэлектростанции.

Мы, люди, ощущаем тесноту Земли, ее крошечность и хрупкость. Но только космонавтам доступно иное ощущение — чувство бескрайности, беспредельности, неизмеримости космических просторов.

Тесно может быть на Земле, но не в космосе! Размещенная там солнечная батарея диаметром в 5 километров и дающая 5 миллионов киловатт электроэнергии (больше, чем Братская ГЭС!) при взгляде с Земли будет иметь такие же угловые размеры, как диск диаметром в 20 сантиметров с расстояния в 1 километр! Для космоса это песчинка!

И таких «песчинок» можно соорудить на геосинхронной орбите столько, сколько потребуется для полного обеспечения землян энергией.

Можно долго перечислять достоинства гелиостанций на орбите. Прежде всего поток солнечной радиации тут много больше, чем на Земле: выше в 15 раз (1,5 киловатта с квадратного метра). Площадку с солнечными батареями можно установить так, чтобы лучи солнца падали на нее оптимальным образом — вертикально.

В космосе не будет ни влаги, ни ветра, ни пыли. А они на Земле — досадная помеха для гелиоустановок. Кроме того, космос обладает привлекательными свойствами — невесомостью и глубоким вакуумом. Они позволят возводить гигантские инженерные сооружения с минимальными затратами материалов.

Гелиостанции вовсе не обязаны действовать в одиночку. Их симбиоз, скажем, с термоядерными установками даже очень желателен. (Для последних идеальный вакуум снимает проблему герметизации, а температура, близкая к абсолютному нулю, позволяет использовать сверхпроводящие магниты для удержания плазмы.)

Так вот, мыслим, к примеру, такой вариант. Гелиостанция дает энергию для мощной лазерной установки. А она, в свою очередь, будет инициировать процессы в установке термоядерной.

Конечно, рассуждать теоретически (на бумажный манер!) гораздо легче, нежели строить гелиоэлектростанции в космосе: туда прежде всего надо забросить с Земли тысячи тонн груза. Технических проблем немало (о них мы еще поговорим), но какие богатые перспективы сулят гелиостанции на орбите! Шесть таких станций мощностью в 10 миллионов киловатт каждая, как показывают оценки, могут полностью удовлетворить потребности в электроэнергии такой технически развитой державы, как Япония. 30—40 станций обеспечат энергией США.

Предтечи и проповедники

Можно подумать, что мысль о гелиоэлектростанциях лишь плод нашего времени: ничего подобного. Еще в глубокой древности человек с надеждой обращал свой взор к солнцу.

Извечное стремление завладеть хотя бы частицей колоссальной мощи солнца породило множество преданий и мифов в религиях всех народов.

Животворящий Ра — у древних египтян, веселый славянский бог Ярило, Гелиос и Аполлон — у античных греков и римлян.

Солнце подарило Земле жизнь. (К. Тимирязев говорил: «Человек вправе, наравне с самим китайским императором, величать себя сыном Солнца»), и, естественно, люди всегда питали к нему сыновние чувства, искали помощи и защиты. Однако тут было больше мистики, чем дела.

Но вот пришли времена Науки и Техники. В 1923 году в Калугу к К. Циолковскому пришло письмо от одесского школьника Валентина Глушко. Пятнадцатилетний подросток увлекся астрономией, мечтал о космических полетах.

А в 1928 году, всего пять лет спустя, будущий академик, тогда студент Ленинградского университета, В. Глушко создал дерзкий проект космического корабля, использующего для полета энергию солнечных лучей.

Гелиоракетоплан. Громадных размеров диск должен был собирать солнечную энергию и преобразовывать ее в электричество. Оно-то, а не химические источники энергии, по мысли Глушко, должно было привести в движение ракету, помещенную в центре этого диска-коллектора.

Это был первый проект, предусматривающий крупномасштабное использование космической солнечной радиации.

Понятно, в наши дни контуры подобных проектов стали более отчетливыми. Идея солнечных космических электростанций (СКЭС) была в 1968 году сформулирована Питером Глейзером, одним из крупнейших американских специалистов в области атомной энергии, бывшим президентом Международного общества по изучению солнечной энергии. В 1971 году Глейзер даже получил патент на эту идею. И другие страны проявили интерес к подобным проектам. В Европе, например, возможности СКЭС анализировали французская фирма «Дорнье» и немецкий концерн «Телефункен».

Подобные проекты обсуждаются и в Японии. Это понятно: Япония почти полностью лишена собственных ресурсов ископаемого топлива и целиком зависит от его импорта. В Японии разрабатывается широкая программа исследований по использованию новых источников энергии, получившая название «Солнечный свет». Она ставит задачу обеспечить «энергетическую независимость» страны. По этим планам до 2000 года будут израсходованы

3,5 миллиарда долларов. Причем значительная часть ассигнований выделена на разработки в области фотоэлектрической технологии.

Сейчас (особенно в США) идет острая борьба между сторонниками и противниками идеи Глейзера. Вначале эта концепция была воспринята довольно скептически. На нее смотрели лишь как на смелую футуристическую фантазию. Дело далекого будущего. Однако прошло 10 лет, и взгляды начинают изменяться. Сейчас группа из 25 американских промышленных и технических организаций учредила совет по проблемам СКЭС. Возглавил его Глейзер. Ближайшая цель совета — развертывание кампании за принятие в конгрессе законодательства, которое предусмотрело бы создание в министерстве энергетики специального отдела космических электростанций.

Ректенны и прочее

Ну хорошо: допустим, гелиостанции выведены на геостационарные орбиты. Потекли реки космической электроэнергии. Но как передать ее на Землю? Не по проводам же!

Лазерный луч — вот что первое приходит на ум. Однако реальнее, как показывают оценки инженеров, другой путь — сверхвысокочастотное излучение (СВЧ).

Ничто не ново на этой грешной Земле! Старые идеи становятся новинкой, порой даже сенсацией лишь тогда, когда появляется в них великая нужда. Лишь тогда давно, казалось бы, забытая мысль становится «открытием», откровением.

Идея передачи энергии без проводов связана с именем выдающегося электротехника серба Никола Тесла (1856—1943). Высказанная на заре XX века, она на многие десятилетия опередила необходимый уровень развития техники. Только в годы второй мировой войны работы по СВЧ получили мощный стимул — появилась радиолокация. Начали совершенствоваться методы генерации сверхвысоких частот, методы приема и методы когерентного излучения направленных пучков сантиметровых волн.

(Выбор длины волны, равной 10 сантиметрам, обусловлен тем, что такие электромагнитные волны почти не поглощаются земной атмосферой. Поэтому передача, скажем, энергии из космоса на Землю будет осуществляться практически без потерь.)

Электроника сверхвысоких частот находит сейчас применение во многих областях: в измерительной технике (осциллографы, усилители, фотоэлементы), кибернетике (автоматы, счетно-решающие устройства, стабилизаторы), в связи (радио, телевидение, радиолокация) и так далее. Но мы-то говорим о другом — о том, что можно было бы условно назвать «энергетической электроникой», или «электроникой больших мощностей».

У нас в СССР это новое направление в последние десятилетия вместе со своими сотрудниками успешно развивает академик П. Капица. Он первый (работа была начата еще в трудные послевоенные годы: 1946— 1952) заговорил о возможности промышленной трансляции по СВЧ-каналам больших количеств электроэнергии.

«Я хочу напомнить, — прозорливо писал П. Капица еще в 1962 году, когда о СКЭС еще и не думали, — что электротехника, прежде чем прийти на службу энергетике, в прошлом веке занималась широко только вопросами электросвязи (телеграф, сигнализация и прочее). Вполне вероятно, что история повторяется: теперь электроника используется главным образом для целей радиосвязи, но ее будущее лежит в решении крупнейших проблем энергетики».

П. Капица указал и основное преимущество СВЧ-энергетики: возможность сосредоточения большой электромагнитной энергии в малых объемах и исключительную гибкость, с которой происходит трансформация СВЧ-энергии в другие виды.

Уже сейчас на Земле, видимо, можно было бы перекачивать электричество по волноводам — трубам, проложенным под землей, подобно нефте- и газопроводам. Конечно, не все технические проблемы решены. Но главное препятствие не в этом.

Трудность та, что приходится конкурировать с уже созданной мощной электротехнической промышленностью. С этим колоссом, который, хотя решает аналогичные задачи и не столь совершенно и экономически менее рентабельно, прочно стоит на ногах, буквально врос в земной шар и не собирается уступать свои позиции.

Это соображение и перевешивает все плюсы электроники больших мощностей: высокие уровни мощности, отсутствие изоляторов, мачт и опор, малые потери, возможность расположения волноводов под землей с целью сохранения лесных и земельных угодий.

Пока, видно, на Земле конкуренция невозможна, но ведь есть еще и космос! Где традиционные способы передачи электроэнергии малопригодны либо и вовсе неприемлемы.

Передача энергии из космоса мыслится таким образом.

Прежде всего полученный на гелиостанции в фотоэлементах постоянный ток должен быть преобразован в электромагнитное излучение с длиной волны 10 сантиметров. В космосе также должно оборудовать передающую СВЧ-антенну километровых размеров.

Это в космосе. А на Земле потоки энергии примет ректенна (гибрид английских слов «rectifier» и «antenna» — выпрямитель и антенна). Они предназначены для одновременного приема СВЧ-колебаний и выпрямления их в постоянный ток.

Полученная так энергия (ректенна мощностью в 10 миллионов киловатт займет на Земле площадку диаметром в 7,4 километра), как полагают, будет частично использована для производства горючего (разложение воды электролизом на водород и кислород),

алюминия и на потребу других энергоемких промышленных комплексов, частично же будет потреблена как электроэнергия.

Техническая сторона дела развивается успешно. Но тут, увы, есть еще и другая сторона — экологическая! Мощные пучки СВЧ-излучения (порядка 200 ватт на квадратный метр) не могут не сказаться на состоянии пронизываемых ими участков атмосферы и ионосферы. Это излучение, особенно в его высокочастотной части, довольно сильно поглощается молекулами воды и кислорода, что может вызвать локальный перегрев воздуха.

И не только это. А птицы? Что станется с ними, если Земля будет окружена поясом космических электростанций?

А самолеты и вертолеты? Точнее, их бортовая электронная аппаратура? Они могут выйти из строя. И зоны, пронизанные пучками СВЧ-излучений, превратятся в рукотворные бермудские треугольники! По-видимому, их придется окружить радиобакенами: они оповестят самолеты об опасности, направят в спасительный фарватер.

А человек? Воздействие СВЧ-излучений на центральную нервную систему? Эти вопросы еще плохо изучены, соответственно отсутствуют и мировые стандарты предельно допустимых доз.

Район приемной антенны займет территорию в 250 квадратных километров. Не вымрет ли здесь все живое? Правда, напрашивается простой выход: поднять решетку ректенны над Землей. Она почти полностью поглотит СВЧ-излучение, но пропустит до 80 процентов солнечного света и не задержит осадков. И вроде бы здесь можно будет разместить сельскохозяйственные угодья — пашни, пастбища, сады.

Конечно, СКЭС — это пока еще уравнения со многими неизвестными. Но будут ли они реализованы или нет, все равно земной энергетике не избежать, видимо, использования электроники больших мощностей (вспомним прогноз Капицы). Дело в том, что определенный смысл в будущем может иметь концентрация энергетических комплексов (ядерная энергетика, солнечная и т. д.) в удаленных малонаселенных местах. Тогда непременно возникнет проблема передачи больших количеств энергии через материки и водные массивы к потребителям.

Вариант возможного кардинального решения этой проблемы уже предложен. Спутники-отражатели в космосе. В районе такого энергетического комплекса будет помещен СВЧ-передающий центр. Созданный им электромагнитный пучок, отраженный от расположенного на геосинхронной орбите пассивного зеркала (металлическая решетка многокилометровых размеров), будет повернут к Земле и попадет на ректенну в местах потребления энергии.

Так вновь Земля оказывается связанной с космосом крепкими узами. Так вновь заявляет о себе очевидный глобальный характер будущих энергетических проектов. Так вновь возникают нерешенные проблемы — скажем, а не появятся ли гангстеры от энергетики? Они будут грабить уже не золото, а то, что может стать дороже его, — энергию! Ведь в космос нетрудно забросить и другие отражающие зеркала!..

В конце концов все — любой проект, начинание, инициатива — упирается в дилемму: дешево — дорого. Почем киловатт взятой из космоса солнечной энергии? Это сложный вопрос.

Слишком масштабен проект гелиоэлектростанций. Его планетарный характер тянет за собой многие трудноподдающиеся оценке эффекты: экологические, демографические, правовые и так далее.

Сравнивать СКЭС и традиционную энергетику трудно еще и потому, что все наземные энергетические комплексы требуют дополнительных затрат на сооружение линий передач, разработку месторождений, обогащение сырья, доставку горючего, захоронение отходов и пр. и пр.

Непросто также (СКЭС пока еще не построены!) рассуждать о том, что, вероятнее всего, станет реальностью лишь через пару десятилетий, скажем, к 2000 году. Таким образом, экономические оценки тут тесно переплетаются с футурологией. Вот поэтому-то встречающиеся в литературе цифры величины капитальных затрат на единицу мощности СКЭС и колеблются в довольно широком интервале.

Следовало бы принять в расчет и то, что отличительная черта конструкций СКЭС — наличие большого количества однотипных элементов, узлов и деталей, таких, как концентраторы солнечного света, пленочные солнечные батареи, элементы опорной структуры, ампли-троны, волноводы, диполи и диоды ректенн. Все это позволяет в принципе применить настолько высокую степень автоматизации процесса производства, что стоимость узлов и деталей будет, по существу, определяться стоимостью исходных материалов. Объем же последних в пересчете на единицу вырабатываемой мощности оказывается необычно низким с точки зрения существующих наземных энергосистем — порядка 2—2,5 килограмма на киловатт.

Это все общие рассуждения, а вот конкретные оценки, проведенные специалистами из центра имени Маршалла (США) для «солнечных городов». Конечно, СКЭС будут добывать энергию автоматически, но для профилактических и некоторых других работ потребуется периодическое — а возможно, и постоянное! — появление на гелиостанциях космонавтов. Стоимость создания и изготовления первого спутника-электростанции, считают они, включая стоимость доставки деталей на орбиту и наземных систем, составит 50—100 миллиардов долларов. Напомним: доставка людей на Луну (проект «Аполлон») обошлась в 20

миллиардов долларов. Полагают, что после 2000 года будет создано уже 100 спутников-электростанций, и срок службы каждого из них превысит 30 лет — средний срок службы для ТЭС на Земле 25 лет. При этом стоимость вырабатываемой СКЭС электроэнергии составит 4—8 центов за один киловатт-час (сейчас в США для наземных энергетических установок аналогичная величина составляет 2,5 цента за киловатт-час). Поэтому-то специалисты и считают, что после 2000 года гелиостанции смогут успешно конкурировать с другими источниками энергии. Если смотреть далеко в будущее, то почему, собственно, космические электростанции должны базироваться лишь на энергии солнечных лучей? А другие виды космических излучений: радиоволны, гамма-лучи, рентгеновские?.. Богатства космоса неисчерпаемы, и СКЭС — только первый шаг на пути овладения этими сокровищами! Есть и другие дерзкие идеи. До поверхности Земли доходит малая доля всей солнечной радиации. Ее можно увеличить с помощью космической техники, например, смонтировать на околоземной орбите достаточно большой рефлектор. Такое зеркало станет второй Луной — Лунеттой. Но в отличие от Луны, помещенное на геостационарную орбиту, оно создаст практически постоянное полнолуние. А искусственное освещение очень нужно в полярных областях и в других глухих уголках Земли, лишенных электричества и дорог для подвоза топлива. Можно не только освещать Землю, но и дарить ей дополнительное тепло тех солнечных лучей, которые пока проносятся мимо нее и попусту теряются в космических равнинах. Так возникает не менее заманчивая идея о создании второго рукотворного Солнца — Солетты. Куда девать эту бездну энергии? Думается, потомки найдут ей такое применение, которое наша фантазия пока не в силах и представить. Заманчивые перспективы, но дорога в космос за энергией может оказаться долгой. Психология человека такова, что всякое новшество обязательно кажется поначалу подозрительным. Консерватизм наших взглядов и привычек крепко держит нас «на привязи». Влияние предубеждений, сила традиций, доминирующее господство определенных энергетических доктрин. Большое число оппонентов, которых необходимо убеждать, уламывать, а то и попросту ломать!Эту ситуацию очень удачно охарактеризовал профессор Массачусетского технологического института (США) С. Уэлслей-Миллер: «Представьте себе, — сказал он однажды, — что солнечная энергия используется повсеместно. А теперь представьте, что я предлагаю следующую революционизирующую идею — послать геологические партии в пустыни Ближнего Востока на поиски нефтяных месторождений. После того как нефть будет найдена, постройте там вышки и начинайте добычу. Я предложил бы далее транспортировать эту нефть по нефтепроводам или на специализированных нефтеналивных судах в другие концы земного шара, где ее подвергли бы переработке, а затем развозили потребителям на грузовиках. Я уверен: нашлось бы множество людей, которые с цифрами в руках убедительнейшим образом доказали бы экономическую неосуществимость моего предложения...» К этому можно было бы добавить, что генераторы, работающие на солнечной энергии, показались бы их противникам более экономичными и гораздо более рентабельными и привлекательными, если бы их сравнивали с теми первыми, скажем, дизельными двигателями, модели которых когда-то на свой страх и риск создавались в небольших мастерских первопроходцами современной техники. Мы говорим: «Эра космоса», ибо задача овладения космосом — столбовой путь человеческой цивилизации. Но мы обычно говорим: «век атома», а не «эра». Почему? Нет ли тут подсознательного ощущения, что использование атомной энергии на Земле — всего лишь промежуточный этап нашей энергетики? Что дело это временное, пока не будут отысканы более естественные, более близкие природе человека источники энергии? Что же придет на смену атому? Скорее всего эра Солнца! А если выражаться точнее, эра космической энергетики, отдельные (солнечные!) грани которой начинают постепенно прорисовываться на наших с вами, читатель, глазах.

ГЛАВА 10

ЭНЕРГЕТИКА: ФАНТАЗИИ И ФАНТАСТИКА

Физика настоящего — это техника будущего.

А. Иоффе

Практически все знания, накопленные человечеством к нашему времени, содержатся в энциклопедиях: Большой Советской, Британской, Американской, французском «Ляруссе». Многие десятки толстенных томов: как много познано, открыто, изобретено!

Но вот недавно в Англии вышла «Энциклопедия незнания». Всего один том: 450 страниц. Однако редакторы-составители этого тома утверждают: «Наши знания — всего лишь островки среди безбрежного океана еще не познанного».

Да, с этим трудно не согласиться: можно придумать тьму вопросов, остающихся пока без ответа. Ну, скажем, что такое ноль? Нечто, состоящее из ничего? Что есть время и почему оно «глядит» всегда в одну сторону? Почему в таблице Менделеева первым стоит атом водорода, а не искусственно созданные в лабораториях позитроний, мюоний, пионий?

А если так, если мы барахтаемся, сами того подчас не замечая, среди бескрайних волн Океана Незнания, то стоит ли сомневаться в том, что рано (лучший вариант!) или поздно ученые предложат сверхнеординарные, сногсшибательные методы получения обильной энергии.

Эта глава последняя. Мы говорили об энергетике сегодняшнего дня (часто поминая прошлое), обсуждали и близкое наше энергетическое будущее. Ну а перспективы? Что там (за энергетическим горизонтом)?

Трудно сказать! Тут мы оказываемся на зыбкой почве спекулятивных (имеющих поневоле вероятностный характер) рассуждений.

Когда разглагольствуешь о будущем, полезно, к примеру, помнить ядовитое высказывание английского писателя Гилберта Честертона:

«Человеческий род... с момента своего возникновения увлекается детскими играми и будет, по-видимому, увлекаться ими до скончания веков. Одна из любимейших его игр называется «О завтра ни гугу», а в простонародье «Натяни нос пророку». Заключается она в следующем. Играющие весьма внимательно и почтительно выслушивают все, что тот или иной мудрец имеет сообщить им относительно грядущих событий, потом терпеливо дожидаются его смерти и хоронят его по первому разряду. Затем все расходятся по домам и занимаются каждый своим делом...»

Действительно: роль предсказателя, прорицателя, футуролога не из лучших. В деле этом существует своеобразный (заимствованный из квантовой механики) принцип неопределенности: чем конкретнее и точнее прогноз, тем он менее достоверен, и наоборот.

Таким образом, как, впрочем, и всюду, золотой оказывается середина! Будем к ней, поелико возможно, стремиться и мы.

Проекты, проекты...

Заточенный в тюрьму и приговоренный к смертной казни, русский революционер Дмитрий Дмитриевич Ахшарумов написал на стене камеры:

Тогда и для земной планеты Настанет период иной: Не будет ни зимы, ни лета, Изменится наш шар земной, Эклиптика с экватором сольется, И будет вечная весна .. И для людей другая жизнь начнется, Гармонией живой наполнится она, Тогда изменятся и люди и природа, И будет на Земле мир, счастье и свобода!..

Д. Ахшарумов мечтал о том изобилии энергии, когда человек сможет повернуть земную ось, поставить ее строго перпендикулярно плоскости орбиты. Тогда смена времен года исчезнет, продолжительность дня и ночи уравняется, на Земле установится нечто вроде вечной весны...

Недостатка в грандиозных проектах преобразования жизни на нашей планете никогда не было. Многие из этих проектов были связаны с энергетикой.

Например, в начале нашего века большой известностью пользовалось предложение Г. Зергеля. В пику сильной капиталами пан-Америке и богатой населением пан-Азии он предложил проект пан-Европы. Известно: через Гибралтарский пролив из Атлантического океана в Средиземное море каждую секунду перетекает 88 тысяч кубических метров воды, восполняющих испарение в Средиземноморье. Поэтому, рассуждал Зергель, если уровень Средиземного моря искусственно понизить на 200 метров, то можно на электростанциях, устроенных в Гибралтарском проливе, вполне свободно получить электроэнергию мощностью 120 миллионов киловатт (огромная по тем временам цифра!). Для этого надо лишь перегородить Гибралтар плотиной...

А вот проект похлестче. Вращение небесных тел, имеющих магнитное поле, создает

электродвижущую силу в результате так называемой униполярной (гомо-полярной) индукции.

Наша Земля, совершающая оборот за 24 часа, имеет магнитное поле около 0,1 гаусса. Кинетическая энергия вращения Земли составляет громадную величину — $6,17 \cdot 10^{25}$ килокалорий.

Так вот, если использовать земной шар в качестве ротора естественного электрогенератора с положительными клеммами на полюсах и отрицательными на экваторе, то можно в принципе получить напряжение около 100 000 вольт!

Только неясно, как обращаться с таким необычным генератором.

Еще проект — нейтринный. Поток нейтрино, падающих на земную твердь из космоса, по мощности почти не уступает потоку солнечной энергии. Поскольку нейтрино очень слабо взаимодействует с материей, этот поток свободно проходит через облачный покров и, кроме того, предоставлен в наше распоряжение и днем и ночью (не то, что солнце!).

Значит, надо только догадаться, как затормозить нейтрино...

Подобных умозрительных схем, видимо, можно предложить великое множество. Так, изобретатель В. Черенков ратует за создание вокруг Земли пылевого кольца: оно бы отражало на Землю часть солнечных лучей, проходящих мимо...

Можно перегородить плотиной Берингов пролив, растопить льды Антарктиды, жечь уголь под землей... Можно делать многое: вот только будет ли толк? Не нарушится ли природное равновесие? Не нагрянет ли беда оттуда, откуда и не ждешь?

Слишком многое надо предусмотреть, предвидеть, проследить цепочки причинных связей между, казалось бы, совсем далекими друг от друга явлениями.

Однако изъяны многих глобальных проектов не только в их антиэкологичности, но также в самой их масштабности.

С Земли — в космос

Непобедимые воины Александра Македонского в ужасе отступили, встретившись с сильными приливами в устье Инда. То же случилось и с легионами Цезаря на берегах Атлантики.

Приливы, землетрясения, вулканы, молнии — стихийные силы Природы всегда были пугалом для человека. И немудрено: только на образование рядового урагана Природа затрачивает десятки тысяч миллионов киловатт!

К числу тех проявлений природной мощи, о которых люди сохраняют самые тяжелые воспоминания, относятся землетрясения. Наиболее разрушительное землетрясение с магнитудой 8,5 произошло 1 сентября 1923 года в Токио — Иокогаме. Было разрушено или сгорело 550 000 домов, 150 000 человек погибли или пропали без вести.

Нетрудно оценить порядок выделившейся при этом землетрясении энергии—10^{24} эрг. Много, безусловно. Но, оказывается, та же энергия высвобождается и при взрыве термоядерной бомбы! Как видим, человек научился создавать катастрофы тех же размеров, что и самые могучие силы Природы.

$Ю^{24}$ эрг! Цифра, эквивалентная примерно 50 миллиардам киловатт-часов энергии — объем мирового энергопотребления в течение суток!

Возьмем теперь хотя бы молнию — это проявление «божественного гнева». В тот момент, когда молния ударяет в антенну, можно с помощью небольших ферромагнитных регистраторов измерить силу протекающего в ней тока.

Измерили. Пока рекордная величина тока — 100 000 ампер. Внушительно! Однако на некоторых заводах в электролизных ваннах при получении алюминия используется ток такой же силы.

Правда, при контакте молнии с антенной возникает напряжение, достигающее 25 миллионов вольт, против всего лишь нескольких вольт в электролизной ванне. Мощность разряда молнии — порядка одного миллиарда киловатт: примерно столько же дают в сумме все электрические мощности землян. Но в силу исключительной кратковременности разряда (1—2 микросекунды) выделяемая молнией энергия на удивление мала: что-то около одного киловатт-часа.

Сколько же слухов, ужасов и легенд порождено столь мизерной энергией!..

Видимо, поэтам и писателям, воспевающим буйство и величие сил природы, придется перестраиваться: говорить о замечательном равенстве энергии, добываемой человечеством, и энергии природных явлений, а не об их пугающем несоответствии.

В последние десятилетия человек обрел могущество, уже сравнимое с могуществом сил природы. Из лилипута, служителя в лавке с хрустальной посудой, человек вдруг превратился в Гулливера, любое неловкое движение которого может разрушить, причем невосстановимо, всю гармонию, созданную природой за миллиарды лет.

Советский астрофизик член-корреспондент Академии наук СССР Н. Кардашев выделяет три этапа технологического развития цивилизации. По уровню ежесекундного потребления энергии:

$4x10^{19}$ эрг — это то, чем человечество располагает сейчас;

$4x10^{33}$ эрг — энергия звездного уровня: столько ее излучает наше солнце;

$4x10^{44}$ эрг — энергия масштаба Галактики.

Конечно, ничто не может помешать человечеству стремиться ко все более высоким энергетическим рубежам. Принципиальных запретов нет. Но выдержат ли хрупкие плечи нашей планеты такие энергетические тяжести?

Энергии звездного уровня, не говоря уже о галактических, ну просто не «поместятся» на Земле! Но есть выход из этого противоречия. Более полувека назад пионер космонавтики К. Циолковский произнес такие пророческие слова: «Земля — колыбель разума. Но нельзя вечно жить в колыбели».

Да, колыбель становится тесновата! И сегодня, когда человек переступил порог второго десятилетия космического века, можно заглядывать и в более глубокое будущее. Сделал это писатель-фантаст Артур Кларк, он сказал: «Земля действительно наша колыбель, которую мы собираемся покинуть. А солнечная система будет нашим детским садом».

Вот в космосе, этом бескрайнем, безбрежном вместилище, человеку будут по плечу уже любые уровни энергии — и звездные и галактические.

Тот же Кларк считает: уже к 2010 году энергетические возможности человечества будут сопоставимы с энергоотдачей одной звезды. Проявления невероятных по силе источников энергии астрономы наблюдают во внутренних сферах некоторых галактик, на квазарах...

Космос преизобилен энергией. Это и солнечная радиация любой напряженности, не ослабленная атмосферой, и космические лучи, и космические тела с их колоссальной кинетической энергией. Можно использовать и космические перепады температур от абсолютного нуля до нескольких тысяч градусов, космический магнетизм.

Из космоса к нам проникают частицы столь мощных энергий, что они в триллионы раз превышают энергии, которые ученые получают на самых мощных ускорителях Земли (Исследователи уже подбираются к энергиям частиц в тысячи Гэв, но не забудем, что, по подсчетам американцев, каждый Гэв ускорения стоит около одного миллиона долларов!)

В деле, так сказать, утилизации космоса в ход может пойти и экзотика. Например, «солнечные паруса», использующие «солнечный ветер»; другими словами, давление солнечного излучения.

Оно очень мало (10^{-6} килограмма на квадратный метр), но при площади паруса в 1 квадратный километр (а просторы космоса бескрайни!) солнечное давление уже способно придать космическому кораблю весом в 1 тонну довольно значительное ускорение — в 1 см/сек^2.

А роль паруса будет играть экран из частиц, удерживаемых магнитным полем и связанных с космическим кораблем.

«Антиметеориты»

Космос, его бескрайность, стихийность его сил — эти качества давно дразнят воображение ученых — ловцов энергии. Совсем недавно на страницах журнала «Успехи физических наук» П. Капица (уж сколько раз мы упоминали это славное имя!), обсуждая энергетические проблемы, неожиданно назвал в качестве потенциального топлива... антивещество. Фантазия? Фантастика? А может, наше энергетическое завтра? А почему бы нет?! Ведь антивещество — это же идеальное горючее!

Существование антивещества давно доказано экспериментально, его получают в ускорителях, правда, в ультрамалых дозах: в виде отдельных ядер. (В 1969 году на Серпуховском ускорителе советские физики зарегистрировали ядра антигелия-3, состоящие из двух антипротонов и одного антинейтрона.)

Ученые полагают: когда создавалась наша вселенная, то могла возникнуть (простые соображения симметрии) и другая, ей равновеликая, но вот только состоящая целиком из антивещества. Как они могут взаимно сосуществовать, сказать трудно. Ведь известно, что при соприкосновении вещества и антивещества оба они аннигилируют, исчезают, превращаясь в излучение. Пользуясь знаменитым соотношением Эйнштейна об эквивалентности энергии и массы, нетрудно прикинуть, что при аннигиляции одного грамма Вещества возникает такая же энергия, Какую можно получить (три сжигании 10000 тонн каменного угля!

Таким образом, продолжая подобные расчеты, легко установить, что одной тонны антивещества (а вещество у нас всегда под рукой!) было бы вполне достаточно, чтобы сейчас обеспечить на год энергией весь земной шар.

И вот сюрприз: в 1979 году группе американских физиков удалось зарегистрировать наличие «природных» антипротонов. Их «принесли» космические лучи. (Воздушные шары подняли на высоту 36 километров примерно две тонны сложнейшей аппаратуры.)

Значит ли это, что нам «посылают весть» далекие «антимиры»? Если это так, то, полагают, антивещество в виде отдельных метеоритов могло бы проникнуть из антимира в наше космическое пространство, ибо оно крайне разрежено. Столкновения с атомами здесь редкость, и антивещество не смогло бы аннигилировать полностью.

Улавливая с помощью спутников эти «антиметеориты» и доставляя их на Землю (в этом соль рассуждения П. Капицы), мы получили бы мощный источник энергии.

И вновь вопросы. Как обнаружить «антиметеориты», отличить их от обычного вещества? Как доставить на Землю, чтобы они при этом ни с чем не соприкасались (иначе взрыв!)?.. Возможно, что все эти задачи вообще неразрешимы. Однако тут не следует проявлять категоричности: жизнь учит нас быть осторожными в суждениях.

Энергетическая лестница

Заимствование энергии из космоса неизбежно, но это все ж отдаленное наше будущее. А что сейчас? Какие энергии здесь, на Земле, уже доступны человеку или будут доступны завтра?

Промышленное значение той или иной формы энергии в значительной степени определяется концентрацией, в которой ее можно накапливать и высвобождать. Имеющиеся при этом различия достигают фантастических размеров: энергия, высвобождаемая в ядерном реакторе из одного грамма урана-235, равна энергии, которую можно накопить в тысячах тонн электростатических конденсаторов или, точнее, в десять тысяч миллиардов (10^{13}) раз большей массе!

Различия в концентрированности энергии определяют и сферу применения. Так, в автомобилях используется химическая энергия жидкого топлива. Тогда как, скажем, для внутризаводского транспорта пойдет и кинетическая энергия маховиков или аккумуляторный привод.

Посмотрим же теперь, каков спектр доступных человеку энергий. В приводимой ниже таблице указаны величины высвобождаемой энергии в ватт-часах на килограмм массы.

Ядерная энергетика	Формула Эйнштейна, $E=mc^2$ (процессы аннигиляции)	10^{12}
	Деление и синтез ядер	10^{10}
	Радиоизотопы	10^{8}
Химия	Теплота сгорания топлива	10^{4}
Электрохимия	Батареи аккумуляторов	10^{3}
Механика	Превращение фаз (кипение)	10^{2}
	Сжатые газы	10
	Кинетическая энергия (маховики)	10
	Металлические пружины	1
	Сила тяжести (гидроэлектрическая энергия)	0,1
Электричество	Электромагнитная индуктивность	0,01
	Электростатические конденсаторы	0,001

Перед нами не просто список всевозможных видов энергии. Это и путь покорения человеком энергии. Путь «вверх» по энергетической лестнице, которая в то же время ведет и «вниз». Ибо для завоевания все больших энергий человек вынужден все глубже погружаться в микромир, в царство микроскопических объектов — первокирпичиков материи.

Физики извлекают энергии из все меньших и меньших объектов пространства.

В областях с размерами 10^{-5}—10^{-7} сантиметра исследователи проникли в мир кристаллов, атомов — возникла кинетическая теория материи. Затем, перешагнув еще один-два порядка, человек открыл царство атомных явлений, управляемых квантовой теорией.

На расстояниях 10^{-11} сантиметра ученых подстерегала неожиданность: при этих энергиях стало возможным рождение светом электронно-позитронных пар, энергия превращалась в вещество! Эти явления уже описываются релятивистской квантовой теорией Дирака.

На расстояниях 10^{-13} сантиметра (размеры ядер) возникла физика атомного ядра. А с расстояний 10^{-14}—10^{-15} сантиметра (порядки энергий, достигнутых на Серпуховском ускорителе) началась физика адронов и их возбужденных состояний — раскрылся мир так называемых «странных частиц».

А сейчас физики замахнулись уже на объекты с характерным масштабом в $10^{\sim 17}$ сантиметра. Проникнуть в эти глубины поможет проектируемый в СССР рядом институтов ускорительно-накопительный комплекс Института физики высоких энергий. Он будет также построен под Серпуховом.

В этом колоссе (длина ускорительного магнитного кольца нового протонного синхротрона равна 19 километрам! Это больше, чем лента Садового кольца в Москве) физики надеются достичь энергий в 3000 Гэв (миллиардов электрон-вольт).

Любопытно, что построенный немногим более десяти лет назад старый Серпуховский ускоритель давал пучок протонов с энергией всего в 76 Гэв. Так вот этот «ветеран» для нового гораздо более мощного собрата будет служить лишь инжектором частиц, всего лишь вспомогательным устройством.

Зачем же нужно строить эти пирамиды XX века? Стоит ли столь крупная игра свеч? Не есть ли это просто способ удовлетворить ненасытную любознательность ученых? Нет, физики хотят отыскать в микромире источники новых, еще более мощных энергий.

Один лишь довод. На заре своего развития физика элементарных частиц, установив, казалось бы, второстепенный с теоретической точки зрения факт, что при делении ядра урана испускается более двух нейтронов, породила всю современную ядерную энергетику!

Дефект масс

Все перечисленные выше виды энергии различаются порядком. Но есть между ними и нечто общее — способ извлечения энергии. Принцип один: превращать в энергию так называемый «дефект масс».

Здравый смысл говорит нам: если мы разрежем яблоко пополам, то каждая половина будет точно в два раза меньше и легче целого плода. Сложим обе половины, и снова получим яблоко. Но не может такого быть, чтобы две половинки весили больше целого яблока.

В макромире действительно такого быть не может, а вот в мире элементарных частиц.,. Разнимая материю на все более мелкие части, физики вдруг обнаружили нарушение закона сохранения массы.

Оказалось: масса целой частицы всегда меньше суммы масс частиц, ее составляющих, это и есть дефект масс. Впрочем, физиков это не удивило. Еще Эйнштейн доказал, что масса и энергия эквивалентны. Значит, дефект массы просто восполняется выделением соответствующего количества энергии, и все получается, так сказать, баш на баш.

Но эффект этот крайне важен для практики, для извлечения из материи энергии. Наибольший дефект масс имеет место при термоядерном синтезе, 'именно поэтому с термоядом энергетики связывают такие большие надежды.

Но вот мы подходим к полному превращению массы в энергию. (Этот процесс, например, реализуется при аннигиляции вещества и антивещества.) Что это — абсолютный предел? Потолок, выше которого не прыгнешь? Дверь, ключа к которой нет?..

Вновь обратимся к физику. А он говорит: мы стоим на пороге нового прорыва в область еще больших энергий.

В истории естествознания, рассказывает он, в свое время было открыто три «мира» или области энергий. Это — в порядке возрастания энергии — мир атомов, мир атомных ядер и мир известных элементарных частиц с массами вблизи массы протона.

Небольшое отступление. Двадцать веков отделяют нас от науки древнего мира. Большой срок. Однако в понимании самых общих свойств природы мы в каком-то смысле недалеко ушли от древних. Античные греки полагали: все в мире слагается из четырех сущностей, четырех стихий — земли, воды, воздуха и огня, не связанных меж собой каким-то единством.

Современней физик также «исповедует» четыре стихии, четыре поля сил — сильного (ядерного), электромагнитного, слабого и гравитационного. Это своеобразные «стихии» физики XX века. Ученые, конечно, понимают, что должна быть глубокая связь между этими стихиями, но, увы, уловить ее пока не могут.

Так вот, в последних экспериментах на ускорителях физики настойчиво пытаются связать электромагнитные и слабые взаимодействия. Теоретики сейчас высказывают мысль о существовании тут новой области энергий — примерно в 50 раз более высоких, чем для из-

вестных уже элементарных частиц.

Что даст практике открытие этой области энергий, сказать трудно. Ибо человек вступает здесь в странный, загадочный мир, где обычные представления и мерки неприменимы.

Проиллюстрируем эту мысль одним важным примером.

Кварки

С десяток лет назад в словаре физики элементарных частиц появилось слово «кварк». Слово это заимствовано из фантастического романа ирландского писателя Джойса «Поминки по Финнегану» (там оно означает нечто дикое, невообразимое, немыслимое). И не случайно: гипотетические частицы — кварки — обладают свойствами, которые не смог бы придумать и самый изощренный фантаст.

Две тысячи лет понадобилось науке, чтобы удостовериться: все вещества состоят из молекул. Через 200 лет человек открыл атомы. 20 лет спустя узнал: атом — это набор элементарных частиц: протонов, нейтронов (их вместе величают нуклонами, они состав ляют ядро атома) и электронов. Смысл таблицы Менделеева стал понятен. Казалось бы, дошли до истоков, до первоматерии.

Однако, как это часто случается в храме Науки, в разгар торжества начались «неприятности». В начале 50-х годов нашего столетия, орудуя мощными ускорителями, физики-экспериментаторы начали обнаруживать все новые и новые ядерные частицы. Их стали обозначать просто буквами. Так возникли А-частицы, Σ-частицы и многие другие. Чтобы не запутаться, все эти частицы окрестили словом «гипероны». А для всех сильно взаимодействующих (ядерные силы) частиц — мезонов, нуклонов и гиперонов — придумали общее название: адроны.

Их набралось уже около двух сотен: больше, чем элементов в таблице Менделеева. Было ясно: с эпитетом «элементарные» пора распроститься.

За дело взялись физики-теоретики. Вооружившись соображениями симметрии, законами сохранения и новейшей математикой, они принялись раскладывать «адронные пасьянсы». Обнаружилось: адроны могут быть сгруппированы в семейства — супермультиплеты, близкие по своим основным свойствам. Нашлась и математика, «узаконившая» подобную классификацию. Она допускала существование всевозможных «наборов частиц»: из одной, трех, шести, восьми, десяти и так далее, физики же наблюдали лишь синглеты (одна), октеты (восьмерки) и дециметы (десятки). Почему такая разница в «наборах»?

В 1963 году одновременно и независимо теоретики — американский (М. Гелл-Манн) и австрийский (Г. Цвейг в отличие от Гелл-Манна, введшего слово «кварк», он называл их «тузами») высказали гипотезу о существовании кварков — трех фундаментальных частиц, различными комбинациями которых и являются все адроны.

Кварки должны были обладать необычными свойствами, и прежде всего дробными зарядами (до этих пор считалось, что наименьшие заряды у электрона и позитрона — минус и плюс единица). А кварки имели заряды: один $+^2/_3$, два других $-^1/_3$ (так, к примеру, протон есть совокупность двух кварков с зарядом плюс $^2/з$ и одного с зарядом минус $^1/_3$, что и дает в сумме нужную единицу).

Кварки вначале были встречены в штыки. Однако теория кварков предсказывала существование нового адрона (омега-минус-гиперона), который вскоре и был обнаружен. Успех был полным. В 1969 году Гелл-Манн стал нобелевским лауреатом.

Физики бросились искать кварки. Искали в океанах, где вроде бы за тысячелетия должны были они накопиться, искали в метеоритах, космических лучах. Тщетно. В 1967 году под Серпуховом в нашей стране был пущен крупнейший тогда в мире ускоритель. Возможности поисков кварков значительно возросли. Но обнаружить следы кварков опять не удалось.

Раздались голоса, что кварки всего лишь удобная абстракция, что, возможно, в 2000 году на вопрос, что такое кварк, физик лишь недоуменно пожмет плечами: теория кварков к тому времени будет забыта.

Родилось, окрепло и другое предположение — кварки принципиально нельзя обнаружить. Нуклоны и гипероны (вместе они называются барионами) построены из трех кварков, мезоны — из двух (кварка и антикварка). Так вот, скажем, мезоны чем-то похожи на магнит, говорили сторонники ненаблюдаемости кварков. А любая попытка отделить северный магнитный полюс от южного обречена на провал. Разрежьте магнит на две части: каждая станет самостоятельным магнитом со своими полюсами. Так и любая попытка разъединить компоненты мезона ведет к образованию новых кварка и антикварка: вместо одного мезона мы получим пару — и только!

Есть и третья версия. Возможно, энергий, достигаемых на современных ускорителях, просто недостаточно для рождения свободных кварков.

Никогда не говори «никогда»

О кварках можно рассказывать бесконечно. Есть кварки красные, желтые, голубые .. Но выбор цветов .и само понятие цвета — вещи довольно условные. Просто оказалось, что кварки

разнятся на «нечто», что за неимением у физиков готовых этикеток и в погоне за яркостью образа нарекли «цветом».

Чистая условность. При желании это «нечто» можно было бы пометить не цветом, а, например, вкусом, и говорить о сладких, соленых и горьких кварках. Но у нас к кваркам сейчас другой интерес: хотелось бы указать на возможную связь кварков с энергетикой будущего.

Дело вот в чем: каждый протон, как полагают, состоит из трех кварков. Но каждый кварк по массе (фантастика!) раз в десять тяжелее протона.

Странности странного микромира: тут слон может залезть в кастрюлю! Часть может быть по массе больше целого. «Толстые» кварки запросто умещаются в «чреве» «худенького» протона.

Итак, вновь дефект масс: если три свободных кварка объединятся в протоне, выделится громадная энергия. Она в тысячи раз больше того, что обещает энергетика термоядерная.

Подобной энергии было бы достаточно для снаряжения межзвездных экспедиций. Вероятно, именно с подобными процессами сталкиваются астрономы при наблюдении взрывающихся галактик и других грандиозных явлений в космосе.

Элементарные подсчеты показывают, что, когда три кварка сливаются в протоне, 95 процентов их массы «исчезает» — превращается в энергию. И «утилизация» одного грамма кварков позволила бы высвободить громадное количество энергии, эквивалентное сжиганию 2500 тонн нефти.

Замечательные перспективы для энергетики, но нам возражают: кварки существуют только внутри адронов, в свободном состоянии они быть не могут. Это их фундаментальное свойство. Их уникальность как раз в том, что человек впервые открыл микрообъекты, наблюдать которые в чистом, изолированном, что ли, виде принципиально нельзя!

Так-то это, может быть, и так, однако никогда не говори «никогда». Эту заповедь следовало бы уже внушать школьникам. «Синтез каучука неосуществим» — говорили. «Никогда человечество не побывает на Луне» — тоже было. «Использование атомной энергии невозможно»...

История науки помнит разные запреты. Никогда, никогда, никогда... А наука развивалась, и запреты падали один за другим.

Ситуация с кварками очень напоминает то, что уже случилось в науке в начале нашего века. Тогда было показано: радий выделяет тепло. Если бы грамм радия распался целиком, на наших глазах, выделилось бы около 2 тысяч миллионов калорий. В 360 тысяч раз больше, чем дало бы сгорание грамма угля. Но должна пройти история человечества от падения Римской империи до наших дней, пока грамм радия распадется наполовину. Можно ли пользоваться таким источником энергии? Очевидно, нельзя. Очевидно, надо не ждать, пока ядро распадется само, а научиться его разбивать. Но все попытки ученых начала века вмешаться в процесс радиоактивного распада неизменно кончались неудачей. (Как тогда ликовали скептики!)

Но в 1919 году великий Резерфорд смог разбить атомное ядро. Когда в ядра попадали альфа-частицы, выделялась (сразу!) большая энергия. Беда только: событие это было довольно редким: число попаданий при атомной «бомбежке» было мало. В результате энергии тратилось гораздо больше, чем извлекалось. Дело было нерентабельным.

Чем кончилась эта история, знает каждый. АЭС построены, и их число в мире неуклонно растет. И это один из доводов, почему не стоит хоронить надежду, что физики когда-нибудь научатся извлекать энергию, «спрятанную» в кварках.

«Пылесосы» вселенной

А теперь поговорим еще об одном необычном феномене, который в будущем, как и кварки, может стать энергетически значимым, поговорим о «черных дырах».

Прежде всего отметим, что «черные дыры» — это всего лишь одно из необычных следствий теории относительности Эйнштейна. И хотя объекты эти кажутся столь экзотическими, физики почти не сомневаются в их существовании. «Черные дыры» можно назвать космическими «пылесосами». В них все и вся безвозвратно исчезает. Отсюда — «дыра», бездонная яма... А черная она оттого, что даже лучи света не могут вырваться из ее чрева: дыра буквально невидима — черна!

«Черные дыры» возникают, когда умирающая звезда коллапсирует (сжимается) до такого плотного состояния, что ее размеры оказываются ничтожными, а гравитационное притяжение столь мощным (оно обратно пропорционально размерам звезды-дыры и прямо пропорционально ее массе), что ничто не может его преодолеть. По мере того как масса вещества сосредоточивается во все меньшем объеме, сжатие нарастает все больше и больше. Невозможно представить, что могло бы остановить этот безудержный процесс.

Получается, так сказать, гравитационная ловушка для материи, «капкан», преодолеть тиски которого нет никаких сил.

В последние годы ученые упорно ищут «черные дыры» и, видимо, уже нашли. И сделали это советские астрономы и математики. По предложению советского академика Я. Зельдовича,

«черные дыры» искали в системах двойных звезд. Логика поиска такова: если обычная звезда и «черная дыра» образуют пару, вращаясь вокруг общего центра, то могучее притяжение «черной дыры» будет вытаскивать вещество из своей соседки. Эти клочья материи должны испускать излучение, обладающее рядом характерных черт.

Предвидение физика-теоретика несколько лет назад подтвердили сотрудники Государственного астрономического института имени Штернберга и Института прикладной математики Академии наук СССР. «Черные дыры» обнаружили в созвездии Лебедя, где много двойных звезд: Лебедь Х-1, Лебедь Х-2 и другие. Ряд примет неопровержимо свидетельствует: «черные дыры» наконец-то открыты! Но вот что удивительно: хотя «черные дыры» обнаружены в космосе дальнем, куда добраться нелегко, уже делаются попытки (правда, пока мысленные) использовать их как источник энергии!

В конце 1972 года в солидных научных журналах замелькали странные заголовки статей: «Опускание массы в гравитационную яму»... «К опусканию веревки в «черную дыру»...

Почти одновременно английский математик Р. Пенроуз и американский физик Дж. Бекенштейн высказали простую идею. Если со звездолета (он облетает «черную дыру» по достаточно удаленной, а потому и безопасной орбите) бросить в направлении «черной дыры» камень, то под действием могучего притяжения камень будет падать все быстрее и быстрее, пока при скорости, близкой к световой, не исчезнет в «дыре».

Осталось немного. Привязываем к камню конец веревки, намотанной на вал динамомашины, и вот при падении камня начнет вырабатываться совершенно бесплатная электроэнергия.

Прием, предложенный теоретиками для понимания физического явления, так называемый «мысленный эксперимент» ненов. Еще в прошлом веке великий Максвелл, чтобы изучить законы термодинамики, придумал маленького чертика («демон Максвелла»), который мог бы сортировать отдельные молекулы и атомы. Но энергетика — это не шутки! Больной вопрос человечества! Неожиданный кульбит теоретиков подвергся вдруг серьезной разработке учеными с более практической жилкой.

Вскоре появляется статья профессора Ванкуверского (Канада) университета Дж. Шелтона. Он занялся подсчетом той энергии, которую можно было бы получить, опуская камень в «черную дыру».

Результаты были ободряющими: выделится, оказывается, вся (100 процентов!) энергия, заключенная в массе бросаемого в «черную дыру» груза. Как если бы произошла полная аннигиляция его массы!

Шелтона вскоре поправили люди с более развитым, чем у профессора, инженерным чутьем. Г. Гиббоне из Кембриджа (Англия), рассуждая как практик, показал: во-первых, часть выделяющейся энергии (37 процентов) потратится на натяжение веревки, а во-вторых, по мере опускания груза, притяжение «черной дыры» будет возрастать. Поэтому, как бы прочна веревка ни была, рано или поздно она оборвется. Даже самые прочные тросы из стальной рояльной проволоки. И поэтому выделяемая энергия (расчеты Гиббонса) должна быть в тысячу миллиардов раз меньше, чем вычислил Шелтон. Но ведь эта малая доля берется от гигантской величины! Для землян и она представляла бы существенный интерес.

Тема «энергетика и «черные дыры» на этом, однако, не закончилась. Правда, продолжалась она уже в иной плоскости. Дело в том, что согласно одной из космогонических гипотез наша вселенная, возможно, порождена «черной дырой», взорвавшейся по неизвестным причинам 10—12 миллиардов лет назад. Звезды и галактики, образовавшиеся в результате этого катаклизма, до сих пор разбегаются от эпицентра взрыва. Раз так, то вполне вероятно, что какие-то осколки этой первоначальной «Черной Дыры» остались в сверхсжатом состоянии — этакие малюсенькие «черные дырочки»! — и разлетаются вместе с обычным веществом.

Подсчитана даже плотность, с которой эти остаточные «черные дыры» распределены в пространстве — одна «черная дыра» на куб со стороной в 1000 километров. В объеме земного шара может находиться несколько сот «черных дыр». Маленькие «черные дыры» способны затеряться где угодно — в земле, в воздухе, в океанах. Если все это действительно так и человек вдруг обнаружит «черные дыры» не в космосе, а у себя на Земле, то могут возникнуть уже вполне утилитарные вопросы: как использовать ту колоссальную энергию, которая сосредоточена в «черных дырах», как ее оттуда извлечь, и так далее...

Вероятные невероятности

Каменный век, бронзовый, железный — они длились тысячелетия. Век пара, кончающийся век двигателей внутреннего сгорания — тут дело пошло уже быстрее! А в последние десятилетия и вообще наблюдается какая-то чехарда из эпох: век электричества, век радио, пластмасс, кибернетики, генной инженерии...

Нет ничего удивительного, если в этой сумятице вскоре наступит век мезонов, век нейтрино, гравитонов, кварков, глюонов... Сейчас основной носитель энергии — электроны, завтра может быть водород, а что потом?

Все говорит за то, что мы, несомненно, находимся в начале новой эры, эры тончайшей

техники, в которой человек будет манипулировать все более мелкими единицами, вплоть до атомных и субатомных размеров.

Такая техника еще находится в колыбели. Но несомненно, что физика высоких энергий (помянем добрым словом ускорители!), изучая крохотные расстояния и мельчайшие интервалы времени, будет источником новых идей и новых руководящих принципов, и они дадут совершенно новую технологию.

Только один пример.

Уже почти 30 лет физики штурмуют термоядерный синтез. Температуру ионов удалось довести до многих десятков миллионов градусов. Осталось повысить плотность плазмы и увеличить время ее удержания примерно в 40 раз. Специалисты обещают сделать это лет через 10—20.

Такой путь к термоядерному синтезу можно сравнить с лобовой атакой. А нет ли обходных путей? Есть! Катаклизм реакций ядерного синтеза с помощью мю-мезонов.

Долго и сложно рассказывать, как эта довольно старая (с 1949 г.) идея постепенно прокладывала себе дорогу. Укажем лишь на ее преимущества перед «классическим термоядом».

Тут, оказывается, не нужны температуры в десятки миллионов градусов, не нужны и хитроумные магнитные поля. Мезонный реактор представляет собой просто сосуд с газом — смесью дейтерия и трития, в который впрыскиваются мезоны.

Размеры сосуда зависят от давления газа, и при давлении в десятки атмосфер диаметр реактора составит около десяти сантиметров.

Карманный реактор! На его основе можно, к примеру, сделать термоядерный автомобильный двигатель!..

Трудности «холодного термояда»? Только в том, что пока нет дешевого источника мю-мезонов. И он должен быть не только экономичным, но, главное, компактным: не то что используемые сейчас гиганты-ускорители. (Минимальная энергия, необходимая для получения мю-мезонов — 100 МэВ).

Мезонные реакторы строить рано, но надо помнить: все революционные идеи обычно проходят три стадии:

1. «Это сумасшедшие мечты и пустая трата времени»;
2. «Собственно, это осуществимо, но стоит ли овчинка выделки?» (как раз такой этап переживает сейчас идея «холодного термояда»);
3. «Я всегда утверждал и всегда буду утверждать, что это блестящая мысль!»

Трудно говорить о будущем энергетики. Ибо энергетика быстро вовлекает в свою орбиту все самые новейшие завоевания науки и техники. Скажем, почему бы основой энергетики будущего не стать... вакууму? Ведь вакуум — это отнюдь не «ничто», а, как утверждают ученые, некая динамическая субстанция с очень сложными физическими свойствами.

Удивительно, но об этом догадывался еще Аристотель. Он писал: «...Надо признать, что дело физика — рассмотреть вопрос о пустоте, существует она или нет и в каком виде существует или что она такое...»

Ему много веков спустя вторил (о эта интуиция великих умов!) Р. Декарт: «...Все пространства, которые обычно считают пустыми и в которых не чувствуется ничего, кроме воздуха, на самом деле так же наполнены, и притом той же самой материей, как и те пространства, где мы чувствуем другие тела...»

Этот перечень цитат, где прозревается грядущее научное и практическое значение вакуума, можно было бы легко продолжить, сославшись на И. Ньютона, Д. Менделеева и других ученых.

Да, корифеи науки не заблуждались: физический вакуум становится сейчас непосредственным объектом многих исследований физиков во всех концах мира.

Но прежде чем исследовать вакуум, его надо создать! И не просто откачать воздух, удалить даже следы газов, необходимо, чтобы в экспериментальной установке не было никаких реальных частиц.

Хорошо, допустим, мы «держим в руках» уголок мира, где нет ни фотонов, ни пионов, ни пи-мезонов, — словом, нет ничего. Частиц нет, но поля остались! Согласно законам квантовой механики не может быть во вселенной участка, где нет полей.

Итак, мы достигли желаемого: реальных, долгоживущих (хотя бы в масштабах микромира) частиц в физическом вакууме нет. Однако раз есть поле, пусть без частиц, то оно должно колебаться. А при этих колебаниях рождаются и тут же исчезают кванты — те самые, которых, по определению, нет.

Колеблется электромагнитное поле — рождаются и пропадают фотоны. Колеблется электронно-позитронное поле — появляются и исчезают электроны и позитроны. И вообще все виды частиц, соответствующих любым полям.

И вот физический вакуум предстал перед нами отнюдь не пустым, но заполненным частицами особого рода, неполноправными, гибнущими (исчезающими) сразу после рождения. Одновременно и существующими и нет, воистину эфемерными.

Такие квазичастицы в физике носят название виртуальных. Их в принципе вроде бы невозможно зафиксировать в вакууме. Но — опять парадокс! — эти призраки микромира, почти фантомы, тем не менее могут взаимодействовать с частицами реальными, настоящими,

влиять на их поведение.

Вот оно «окошко» в вакуум, в это загадочное Нечто по имени Ничто!

Сейчас физики исследуют вакуум на современных ускорителях. В них элементарные частицы разгоняются по тоннелям, в которых создается высокий вакуум. Подобные эксперименты начаты сравнительно недавно, но уже удается заглянуть (правда, пока больше мысленно) в открывающиеся тут «дали» микромира.

Если проникнуть в глубины микромира еще дальше — на 20 порядков меньше масштабов, доступных сейчас физике высоких энергий, то там пространство-время уже имеют сложную топологическую и геометрическую «мелкозернистую» структуру с невиданными свойствами.

Плотность энергий там фантастическая: в одном кубическом микроне этой среды содержится энергии столько, что ее хватило бы на образование многих и многих триллионов галактик!

Почему же эти чудовища себя не проявляют? Потому что при таких плотностях энергии и на таких малых расстояниях гравитационные силы становятся чрезвычайно мощными: они искривляют пространство-время и как бы «запечатывают» эту энергию. Так что стороннему человеку, который наблюдает эту «мелкозернистую» структуру среды, все кажется пустым пространством, то есть вакуумом, в обычном понимании этого слова.

Квантовая теория гравитации, таким образом, утверждает, что вакуум обладает бесконечной внутренней энергией, «запертой на замок» колоссальными силами внутреннего притяжения. «Холодный термояд», антивещество, кварки, «черные дыры», вакуум... что еще? Что готовит будущее энергетике и нам? Если, как говорится, доживем, то и увидим! Сейчас ясно лишь одно: творческие силы человека безграничны.

В этом легко убедиться. Радар, реактивный двигатель, атомный реактор, баллистические ракеты... Каждое из этих изобретений изменило наш мир. А ведь все эти замечательные новшества были созданы за какие-то шесть лет! В жаркий и стремительный период, когда гремела вторая мировая война. Стимулом к их созданию в столь рекордные сроки явилась Большая Необходимость.

Несомненно, что и энергетические трудности, стимулируя мысль ученых, изобретателей и инженеров, ускорят переход нашей цивилизации на новые, еще более высокие энергетические рубежи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За время существования нашей цивилизации много раз происходила смена традиционных источников энергии на новые, более совершенные. И не потому, что старый источник был исчерпан.

Солнце светило и обогревало человека всегда: и тем не менее однажды люди приручили огонь, начали жечь древесину.

Затем древесина уступила место каменному углю. Запасы древесины казались безграничными, но паровые машины требовали более калорийного «корма».

Но и это был лишь этап. Уголь вскоре уступает свое лидерство на энергетическом рынке нефти. И вот, как в сказке, появились самолеты, забегали автомобили, иным стал флот, активнее стала развиваться промышленность.

А между тем нефти в недрах земли во много раз меньше, чем каменного угля. Значит, дело не в запасах, а в том, насколько экономична добыча того или иного топлива, его транспортировка к потребителю, сколь удобно его использование.

И вот новый виток: в наши дни ведущими видами топлива пока остаются нефть и газ. Но за каждым новым кубометром газа или тонной нефти нужно идти все дальше на север или восток, зарываться все глубже в землю. Немудрено, что нефть и газ будут с каждым годом стоить нам все дороже.

Замена? Нужен новый лидер энергетики. Им, несомненно, станут ядерные источники.

Запасы урана, если, скажем, сравнивать их с запасами угля, вроде бы не столь уж и велики. Но зато на единицу веса он содержит в себе энергии в миллионы раз больше, чем уголь.

А итог таков: при получении электроэнергии на АЭС нужно затратить, считается, в сто тысяч раз меньше средств и труда, чем при извлечении энергии из угля. И ядерное горючее приходит на смену нефти и углю...

Всегда было так: следующий источник энергии был и более мощным. То была, если можно так выразиться, «воинствующая» линия энергетики. (Часто она шла рука об руку с военными приложениями: атомная бомба, скажем, водородная.)

В погоне за избытком энергии (увы, все ускользающим!) человек все глубже погружался в стихийный мир природных явлений и до какой-то поры не очень задумывался о последствиях своих дел и поступков.

Но времена изменились. Сейчас, в конце XX века, начинается новый, значительный этап земной энергетики. Появилась энергетика «щадящая». Построенная так, чтобы человек не рубил сук, на котором он сидит. Заботился об охране уже сильно поврежденной биосферы.

Несомненно, в будущем параллельно с линией интенсивного развития энергетики (этой основной магистрали!) получит широкие права гражданства и линия экстенсивная: рассредоточенные источники энергии не слишком большой мощности, но зато с высоким КПД, экологически чистые, удобные в обращении.

Яркий пример тому — быстрый старт электрохимической энергетики, которую позднее, видимо, дополнит энергетика солнечная.

Энергетика очень быстро аккумулирует, ассимилирует, вбирает в себя все самые новейшие идеи, изобретения, достижения науки. Это и понятно: энергетика связана буквально со всем, и все тянется к энергетике, за висит от нее.

Поэтому энергохимия, водородная энергетика, космические электростанции, энергия, запечатанная в антивеществе, кварках, «черных дырах», вакууме, — это всего лишь наиболее яркие вехи, штрихи, отдельные черточки того сценария, который пишется на наших глазах и который можно назвать Завтрашним Днем Энергетики.

Лабиринты энергетики. Таинственные переходы, узкие, извилистые тропки. Полные загадок, препятствий, неожиданных озарений, воплей печали и поражений, кликов радости и побед.

Тернист, непрост, непрям энергетический путь человечества. Но мы верим, что мы на пути к Эре Энергетического Изобилия и что все препоны, преграды и трудности будут преодолены.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Чирков Ю. В.

Занимательно об энергетике. М.: Мол. гвардия, 1981. — 207 с, ил. — (Эврика). В пер.: 50 к. 100 000 экз.

Солнечные батареи, гиганты ГРЭС, ветроэнергетика, топливные элементы, «Токамаки»... Какое место в этой шеренге занимает тот или иной вид энергии? В чем достоинства каждого? Где его применить? О тенденциях *в* энергетике, о том, как лучше удовлетворить бурно растущие потребности в энергии, о «конкурсе» источников тока рассказывает доктор наук Ю Чирков.